

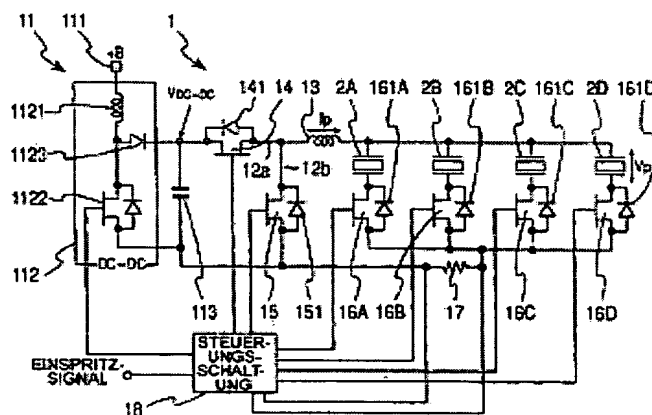
**The piezo operating element drive circuit for fuel injection unit of motor vehicle, has piezo stack and control circuit which adjusts on period of switching system**

**Patent number:** DE10151421  
**Publication date:** 2002-05-29  
**Inventor:** FUKAGAWA YASUHIRO (JP); MORITSUGU MICHİYASU (JP); SAKAKIBARA YASUYUKI (JP); IGASHIRA TOSHIHIKO (JP); NARUSE HIDEO (JP)  
**Applicant:** NIPPON SOKEN (JP); DENSO CORP (JP)  
**Classification:**  
- **International:** H02N2/02; F02D41/20; F02M51/00; F16K31/02  
- **European:** F02D41/20P; F02M47/02D; F16K31/00E3; H01L41/04B  
**Application number:** DE20011051421 20011018  
**Priority number(s):** JP20000319397 20001019; JP20000319534 20001019; JP20000352183 20001120

Report a data error here

#### Abstract of DE10151421

The piezo opening element drive circuit (1) is provided with a first conducting path (12a), to supply a first charging current from a DC voltage supply (11) to a piezo stack (2A-2D), at a piezo operating element (4c), to allow flow over an inductance (13). A second conducting path (12b) with the inductance (13), the piezo stack (2A-2D) and a diode are connected with each other in series. The switching system (14,15,16) is provided at a place on the first conducting path (12a) and is switched on and off repeatably. The control unit (18) controls the switching off and on. A first charging current flows and gradually increases during an ON period of the switching system (14,15,16). A second charging current flowing through the second conducting path (12b) based on a free running effect, reduces gradually during an OFF period of the switching system (14,15,16). In addition the control unit (18) adjusts the ON period of the switching system (14,15,16) to a predetermined time of duration.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

Best Available Copy

Best Available Copy

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 101 51 421 A 1

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 02 N 2/02  
F 02 D 41/20  
F 02 M 51/00  
F 16 K 31/02

21 Aktenzeichen: 101 51 421.2  
22 Anmeldetag: 18. 10. 2001  
43 Offenlegungstag: 29. 5. 2002

DE 101 51 421 A 1

30 Unionspriorität:

P 00-319397	19. 10. 2000	JP
P 00-319534	19. 10. 2000	JP
2000-352183	20. 11. 2000	JP

71 Anmelder:

Nippon Soken, Inc., Nishio, Aichi, JP; Denso Corp., Kariya, Aichi, JP

74 Vertreter:

Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner GbR, 80336 München

72 Erfinder:

Fukagawa, Yasuhiro, Nishio, Aichi, JP; Moritsugu, Michiyasu, Nishio, Aichi, JP; Sakakibara, Yasuyuki, Nishio, Aichi, JP; Igashira, Toshihiko, Kariya, Aichi, JP; Naruse, Hideo, Kariya, Aichi, JP

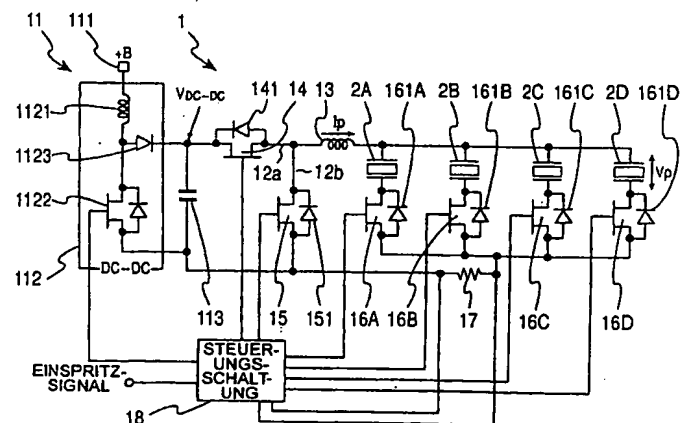
Best Available Copy

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung und Kraftstoffeinspritzgerät

57 Eine Antriebsschaltung (1) weist einen Piezostapel (2), eine Schaltvorrichtung (4, 5, 6), eine Gleichspannungsvorsorgung (11), eine Induktivität (13), eine Diode (141, 151, 161) und eine Steuerungsschaltung (18) auf. Die Schaltvorrichtung (4, 5, 6) schaltet wiederholt einen Vorgang zum elektrischen Aufladen des Piezostapels (2) ein und aus. Während einer Einperiode der Schaltvorrichtung (4, 5, 6) fließt ein Aufladestrom aus der Gleichspannungsvorsorgung (11) zu dem Piezostapel (2) über die Induktivität (13). Während einer Ausperiode der Schaltvorrichtung (4, 5, 6) ermöglicht demgegenüber die Diode (141, 151, 161) ein Fließen des Aufladestroms durch die Induktivität (13) als ein Freilaufstrom. Die Steuerungsschaltung (18) stellt jede Einperiode der Schaltvorrichtung (4, 5, 6) auf eine konstante Dauer derart ein, dass bei elektrischem Aufladen des Piezostapels (2), eine Spannung des Piezostapels (2) ansteigt, wodurch eine Verringerung des Aufladestroms verursacht wird. Falls die Anstiegsrate der Spannung des Piezostapels (2) durch eine Erhöhung der elektrostatischen Kapazität des Piezostapels oder andere Gründe verringert wird, erhöht ein resultierender Effekt eine Rate, mit der der Aufladestrom ansteigt. Folglich wird die Anstiegsrate der Spannung des Piezostapels (2) nicht sehr geändert. Zusätzlich ändert sich die Abstiegsrate des Aufladestroms, die während der gesamten Aufladepiode gesehen wird, ebenfalls nicht sehr.



DE 101 51 421 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft eine Piezobetätigungsglied-antriebsschaltung und ein Kraftstoffeinspritzgerät.

[0002] Ein Piezobetätigungsglied verwendet einen piezoelektrischen Effekt eines piezoelektrischen Materials wie PZT. Das Piezobetätigungsglied weist einen Piezostapel auf und arbeitet linear als ein Kolben oder dergleichen durch Expansion und Kontraktion aufgrund von Laden und Entladen des Piezostapels, bei dem es sich um ein kapazitives Element handelt. Wie allgemein bekannt ist, wird ein Piezobetätigungsglied zum Schalten des Öffnens bzw. Schließens eines Ventils einer Einspritzeinrichtung zum Einspritzen von Kraftstoff in einem Kraftstoffeinspritzgerät verwendet, das bei einer Brennstoffmaschine angewandt wird.

[0003] Eine Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung zum Antrieb eines Piezobetätigungsglieds weist typischerweise einen ersten Leitungsweg, über den ein erster Ladungsstrom aus einer Gleichstromquelle zu einem Piezostapel über eine Induktivität zum Fließen gebracht wird, und einen zweiten Leitungsweg auf, der die Induktivität, den Piezostapel und eine Diode aufweist, die miteinander in Reihe verschaltet sind. Der erste Leistungsweg weist eine Schaltvorrichtung auf, die wiederholt ein- und ausgeschaltet wird. In einer Einperiode der Schaltvorrichtung (Periode bzw. Zeitdauer, während der die Schaltvorrichtung eingeschaltet ist) steigt der durch den ersten Leitungsweg fließende, erste Ladungsstrom allmählich an. In einer Ausperiode der Schaltvorrichtung (Periode bzw. Zeitdauer, während der die Schaltvorrichtung ausgeschaltet ist) verringert sich demgegenüber ein durch den zweiten Leitungsweg fließender, zweiter Ladungsstrom als ein Freilaufstrom. Die Größe einer in dem Piezostapel akkumulierten, elektrischen Ladung steigt entsprechend der Anzahl an, wie oft die Schaltvorrichtung ein- und ausgeschaltet wird. Wenn die Größe der akkumulierten, elektrischen Ladung ansteigt, steigt eine zwischen den zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretende Spannung an. Der Vorgang zum Ein- und Ausschalten der Schaltvorrichtung in einer bestimmten Anzahl zur Erhöhung der Größe einer in dem Piezostapel akkumulierten, elektrischen Ladung und somit der zwischen den zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretenden Spannung ist als Mehrschalttechnik bzw. Multischalttechnik (multi-switching-technique) bekannt.

[0004] Fig. 15 zeigt eine erläuternde Darstellung, die zur Beschreibung einer typischen Steuerung der elektrischen Ladung des Piezostapels in der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung verwendet wird. Eine Steuerungsschaltung zur Steuerung einer Schaltvorrichtung schaltet die Schaltvorrichtung aus, wenn ein zu dem Piezostapel fließender Strom einen Stromwert  $I_{pPEAK}$  erreicht. Wenn der zu dem Piezostapel fließende Strom Null wird, schaltet die Steuerungsschaltung die Schaltvorrichtung wieder ein. Folglich kann die Größe  $Q$  der in dem Piezostapel akkumulierten Ladung als  $Q = I \times t$  ausgedrückt werden, wobei  $I$  einen Durchschnittsstrom  $I$ , der in einer Ladeperiode fließt, und  $t$  die Dauer der Ladeperiode bezeichnen. Da der Signalverlauf des Ladestroms eine Dreiecksform aufweist, kann der Durchschnittsstrom  $I$  durch einen Ausdruck  $I_{pPEAK}/2$  ausgedrückt werden, wobei  $I_{pPEAK}$  den vorstehend beschriebenen Stromwert bezeichnet, der als Spitzenstromwert bezeichnet wird. Dieser Ausdruck gibt einen Ladestrom an, als wenn der Piezostapel mit einem konstanten Strom über die gesamte Ladeperiode geladen werden würde. Eine zwischen den Anschlüssen des Piezostapels auftretende Spannung  $V$  wird durch  $V = Q/C$  ausgedrückt, wobei  $C$  die elektrostatische Kapazität des Piezostapels angibt. Eine dem Piezostapel zugeführte Energie  $E$  wird als  $E = (1/2) CV^2 = (1/2) Q^2/C$  ausgedrückt. Somit steigt die zwischen den Anschlüs-

sen des Piezostapels auftretende Spannung  $V$  proportional zu der Ladungsperiodenlänge  $t$  an. Demgegenüber steigt die dem Piezostapel zugeführte Energie  $E$  wie eine quadratische Kurve an.

[0005] In einem Kraftstoffeinspritzgerät mit einem Einspritzeraufbau, treibt, während ein von einem Common-Rail zugeführter Kraftstoffdruck eine Kraft auf eine Nadel in einer Düse in eine schließende Richtung eines Ventils ausübt, ein Piezostapel die Nadel durch Drücken der Nadel indirekt durch den Druck von Kraftstoff in einer druckaufbringenden Kammer zum Öffnen des Ventils an. In diesem Fall ist, je höher der Druck des Common-Rail ist, der Druck desto höher, so dass der Piezostapel eine Kraft ausüben muss, die dem Druck des Kraftstoffs widerstehen kann. Die JP-B2-6-12101 offenbart eine vorgeschlagene Technik, durch die die Größe einer dem Piezostapel zugeführten elektrischen Ladung entsprechend einem erfassten Common-Rail-Druck gesteuert wird, so dass die die Nadel drückende Kraft korrekt eingestellt wird. Somit muss eine Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung, die zur Steuerung der Größe der dem Piezostapel zugeführten elektrischen Ladung entsprechend einem Eingangs-Common-Rail-Druck verwendet wird, eine Funktion aufweisen, die zum Steuern der elektrischen Ladung mit einem hohen Grad von Genauigkeit in der Lage ist.

[0006] Im allgemeinen erhöht die elektrostatische Kapazität eines kapazitiven Elements einschließlich eines Piezostapels sich in der Größe mit einem Anstieg in der Temperatur. In einem Temperaturbereich von  $-20$  bis  $160^\circ\text{C}$  ändert sich die Induktivität einer Spule oder dergleichen lediglich um einige Prozent (%). Jedoch ändert sich die elektrostatische Kapazität des Piezostapels in demselben Temperaturbereich mehrfach, was eine starke Temperaturabhängigkeitseigenschaft zeigt. Somit sind, selbst falls die elektrische Ladungsgröße  $Q$  mit einem hohen Genauigkeitsgrad gesteuert wird, die Anschlussspannung  $V$  des Piezostapels und die dem Piezostapel zugeführte Energie  $E$  von der elektrostatischen Kapazität  $C$  abhängig, die ein variabler Parameter ist. Genauer ändert sich die Anschlussspannung  $V$  des Piezostapels und die dem Piezostapel zugeführte Energie umgekehrt proportional zu der elektrostatischen Kapazität  $C$ , wie es in Fig. 15 gezeigt ist.

[0007] Die JP-A-11-31755 offenbart eine vorgeschlagene Technik, durch die durch Betrieb einer Schaltvorrichtung entsprechend einer überwachten Spannung, die zwischen Anschlüssen eines Piezostapels auftritt, und entsprechend überwachten Expansionsverhalten des Piezostapels die Temperaturabhängigkeitseigenschaft der elektrostatischen Kapazität des Piezostapels absorbiert werden kann. Nachstehend sollen  $tc1$  und  $tc2$  jeweils die Zeitlängen angeben, die zum Erhöhen der Anschlussspannung  $V$  des Piezostapels auf einen vorbestimmten Wert  $V_{th}$  erforderlich sind. Aus den Gleichungen, die die elektrische Ladungsgröße  $Q$  und die Anschlussspannung  $V$  des Piezostapels wiedergeben, können die nachstehenden Gleichungen abgeleitet werden. Für die Zeitdauer  $tc1$ , gilt  $V = I \times tc1/C$ , und für die Zeitdauer  $tc2$  gilt  $V = I \times tc2/C$ . Aus diesen Gleichungen geht hervor, dass zur korrekten Einstellung des Spitzenstromwerts  $I_{pPEAK}$  Variationen in der elektrostatischen Kapazität  $C$  des Piezostapels, die durch Temperaturänderungen und dergleichen verursacht werden, zu einem typischen Betrieb zurückgekoppelt werden müssen, um den Spitzenstromwert  $I_{pPEAK}$  einzustellen.

[0008] Mit der in der JP-A-11-31755 offenbarten Technik steigt die Größe der Verarbeitungslast jedoch an, was einen Anstieg der Kosten verursacht.

[0009] Zusätzlich schaltet die Schaltvorrichtung von einem eingeschalteten Zustand zu einem ausgeschalteten Zu-

stand, wenn der Ladestrom einen vorbestimmten Strombegrenzungswert erreicht, der einen Spitzenwert des Ladestroms vorschreibt. Wie es in Fig. 27 gezeigt ist, steigt der Ladestrom allmählich an und verringert sich dann allmählich wiederholt, was die Größe der in dem Piezostapel akkumulierten, elektrischen Ladung ansteigen lässt. Folglich steigt eine zwischen den zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretende Spannung stufenweise an. Dieses Verfahren ist als Mehrschalttechnik bekannt. Da die Größe der in dem Piezostapel akkumulierten, elektrischen Ladung einen vorbestimmten Sollwert erreicht, ist die Schaltvorrichtung in einem ausgeschalteten Zustand zum Ende des elektrischen Ladevorgangs fest eingestellt. Für weitere Informationen wird auf das japanische Patent Nr. 2684650 verwiesen.

[0010] Der elektrische Ladevorgang wird durch Feststellen der Schaltvorrichtung in einem ausgeschalteten Zustand typischerweise bei der Bestimmung beendet, dass eine zwischen den zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretende, erfasste Spannung einen Sollpegel erreicht.

[0011] Aufgrund von Änderungen in der Umgebung und anderen Gründen ändern sich die Eigenschaften von Komponenten, aus denen die Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung zusammengesetzt ist, derart, dass in einigen Fällen ein Zeitverlauf für die zwischen den zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretende Spannung zum Erreichen des Sollpegels nicht mit einem Zeitverlauf übereinstimmt, mit dem die letzte Ausschaltperiode der Schaltvorrichtung endet.

[0012] Beispielsweise zeigen kapazitive Elemente einschließlich des Piezostapels im allgemeinen eine starke Temperaturabhängigkeitseigenschaft. In dem Fall eines Piezostapels mit einem großen, elektrostatischen Kapazitätswert steigt die zwischen den zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretende Spannung gradueller an. Da der Durchschnittswert des Ladestroms konstant ist, erfordert es somit eine längere Zeit, die zwischen den zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretende Spannung auf den vorbestimmten Pegel anzuheben. Folglich wird, selbst falls die Schaltvorrichtung in einem ausgeschalteten Zustand fest eingestellt wird, nachdem die zwischen den zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretende Spannung den vorbestimmten Pegel erreicht hat, der Vorgang zum elektrischen Laden des Piezostapels durch einen Freilaufstrom fortgesetzt, selbst nachdem die Schaltvorrichtung ausgeschaltet ist, was zu einem Fehler führt. Ein Maximalwert des Fehlers wird erzeugt, wenn ein Zeitverlauf des Ladestroms zum Erreichen einer Strombegrenzung mit einem Zeitverlauf der zwischen den zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretenden Spannung zum Erreichen des vorbestimmten Pegels zusammenfällt, wie es in Fig. 28 gezeigt ist.

[0013] Wie es in Fig. 32 gezeigt ist, weist eine Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung einen Kondensator 581 zur Akkumulation elektrischer Ladung, die einem Piezostapel 509 zuzuführen ist, einen ersten Leitungsweg 582a, um einen Ladestrom aus dem Kondensator 581 zu dem Piezostapel 509 über eine Induktivität 583 fließen zu lassen, und einen zweiten Leitungsweg 582b auf, der einen geschlossenen Stromkreis einschließlich der Induktivität 583, des Piezostapels 509 und eine Diode 585 bildet. Der erste Leitungsweg 582a weist eine Schaltvorrichtung 584 auf, die wiederholt ein- und ausgeschaltet wird. Während einer Einschaltperiode der Schaltvorrichtung 584 steigt der durch den ersten Leitungsweg 582a fließende Ladestrom allmählich an. Während einer Ausschaltperiode der Schaltvorrichtung 584 fließt der Ladestrom durch den zweiten Leitungsweg 582b aufgrund eines Freilauffeffekts weiter, sinkt jedoch allmählich ab. Die Schaltvorrichtung 584 wird von einem eingeschalteten Zustand zu einem ausgeschalteten Zustand typischer-

weise umgeschaltet, wenn der Ladestrom einen vorbestimmten Strombegrenzungswert erreicht, der den Spitzenpegel des Ladestroms vorschreibt.

[0014] Wie es in Fig. 33 gezeigt ist, steigt und fällt der Ladestrom wiederholt an und ab, was die Größe der in dem Piezostapel 509 akkumulierten, elektrischen Ladung erhöht, weshalb eine zwischen den zwei Anschlüssen des Piezostapels 509 schrittweise erhöht wird, wie es in Druckschriften, wie beispielsweise die JP-A-10-308542, offenbart ist. Dieses Verfahren ist als Mehrschalttechnik bekannt. Die zwischen den zwei Anschlüssen des Piezostapels 509 auftretende Spannung wird nachstehend als Piezostapelspannung bezeichnet. Wenn die Piezostapelspannung einen vorbestimmten Sollpegel erreicht, wird die Schaltvorrichtung 584 in einem ausgeschalteten Zustand festgehalten.

[0015] Nachdem die Schaltvorrichtung 584 in einem ausgeschalteten Zustand festgehalten wird, fließt ein Ladestrom weiterhin durch die Induktivität 583 aufgrund eines Freilauffeffekts, was verursacht, dass eine in der Induktivität 583 bisher akkumulierte Energie zu dem Piezostapel 509 übertragen wird. Somit steigt die Piezostapelspannung weiterhin an, selbst nachdem die Schaltvorrichtung 584 in einem ausgeschalteten Zustand festgehalten wird. Folglich überschreitet die Größe der in dem Piezostapel 509 akkumulierten, elektrischen Ladung einen Sollwert für die elektrische Ladungsgröße, was zu einem Fehler zwischen der in dem Piezostapel 509 akkumulierten, elektrischen Ladungsgröße und der Sollgröße der elektrischen Ladung führt.

[0016] Zusätzlich variiert der Fehler aufgrund von Änderungen in den Eigenschaften von Komponenten, die die Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung bilden. Die Änderungen in den Komponenteneigenschaften werden durch typische Änderungen in der Umgebung oder dergleichen verursacht. Beispielsweise zeigt die elektrostatische Kapazität kapazitive Elemente einschließlich des Piezostapels 509 starke Temperaturabhängigkeiten. Die Menge  $Q$  einer in dem Piezostapel 509 akkumulierten, elektrischen Ladung wird durch die Gleichung  $Q = V \times C$  ausgedrückt, wobei  $V$  die Piezostapelspannung und  $C$  die elektrostatische Kapazität des Piezostapels 509 bezeichnen. Die Gleichung gibt an, dass ein Anstieg bei der elektrostatischen Kapazität des Piezostapels eine Rate verringert, mit der die Piezostapelspannung ansteigt. Folglich beeinträchtigen Variationen in der Temperatur die Größe eines Ladestroms, der beobachtet wird, wenn die Piezostapelspannung einen Sollwert erreicht, oder wenn die Schaltvorrichtung 584 in einem ausgeschalteten Zustand festgehalten wird.

[0017] Weiterhin gibt der Fehler relativ zu der Sollgröße der elektrischen Ladung an, dass die Größe der in dem Piezostapel 509 akkumulierten, elektrischen Ladung größer als die Sollgröße der elektrischen Ladung ist. Der Fehler gibt somit an, dass dem Piezostapel 509 unnötig zuviel Energie zugeführt worden ist, bzw. gibt eine Verringerung in dem Wirkungsgrad des Energieverbrauchs an.

[0018] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung zu schaffen, die einen Piezostapel steuern kann, ohne dass eine übermäßige Verarbeitungslast erforderlich ist, sowie ein Kraftstoffeinspritzgerät zu schaffen, das die Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung anwendet.

[0019] Wiederholung der Ansprüche, S. 9, Rn. 2.

[0020] Gemäß einer ersten Ausgestaltung weist eine Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung auf: einen ersten Leitungsweg, um einen ersten Aufladestrom aus einer Gleichspannungsversorgung zu einem Piezostapel, der an einem Piezobetätigungsglied vorgesehen ist, über eine Induktivität fließen zu lassen, einen zweiten Leitungsweg mit der Induktivität, dem Piezostapel und einer Diode, die miteinander in

Reihe geschaltet sind, eine Schaltvorrichtung die an einer Stelle auf dem ersten Leitungsweg vorgesehen ist und wiederholt ein- und ausgeschaltet wird, und eine Steuerungseinrichtung zur Steuerung der Schaltvorrichtung zum Einschalten und Ausschalten. Der erste Aufladestrom fließt während einer Einperiode der Schaltvorrichtung und steigt allmählich an. Ein durch den zweiten Leitungsweg aufgrund eines Freilauffeffekts fließender, zweiter Aufladestrom verringert sich allmählich während einer Ausperiode der Schaltvorrichtung. Die Steuerungseinrichtung stellt die Einperiode der Schaltvorrichtung auf eine vorbestimmte Zeitdauer ein.

[0021] Während der Piezostapel elektrisch aufgeladen wird, steigt eine zwischen zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretende Spannung an. Somit verringert sich während einer Einperiode der Schaltvorrichtung eine an die Induktivität angelegte Spannung allmählich. Da sich eine induzierte, elektromotorische Kraft ebenfalls allmählich verringert, verringert sich folglich der Gradient eines durch die Induktivität während der Einperiode fließenden Stroms, das heißt, der Gradient des zu dem Piezostapel fließenden Aufladestroms verringert ebenfalls, während der Piezostapel elektrisch aufgeladen wird. Erfindungsgemäß ist die Dauer der Einperiode fest eingestellt. Die Größe des Aufladestroms erreicht einen Spitzenwert bei einem sich allmählich verringenden Gradienten während einer Einperiode und verringert sich allmählich von dem Spitzenwert während einer Ausperiode. Das heißt, dass, während der Piezostapel elektrisch aufgeladen wird, der Aufladestrom zu dem Piezostapel fließt, wobei der Strom einen Signalverlauf mit einer Dreiecksform bildet. Während einer Ausperiode verringert sich der Aufladestrom allmählich von dem Spitzenwert, während die zwischen zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretende Spannung ansteigt.

[0022] In dem Fall eines Piezostapels mit einer großen elektrostatischen Kapazität zeigt sich ein Effekt der Verringerung einer Rate, mit der die zwischen zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretende Spannung ansteigt, während der Piezostapel elektrisch aufgeladen wird. Dieser Effekt der Verringerung der Anstiegsrate der zwischen zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretenden Spannung verringert ebenfalls eine Rate, mit der eine an die Induktivität angelegte Spannung sich verringert. Somit verringert der Effekt der Verringerung der Anstiegsrate der zwischen zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretenden Spannung eine Rate, mit der der insgesamt gesehene Aufladestrom sich verringert. Dadurch erhöht eine verringerte Abstiegsrate des Aufladestroms während des gesamten Beobachtungsbereichs eine Rate, mit der der Piezostapel elektrisch aufgeladen wird. Somit zeigt sich kaum ein Effekt der Verringerung einer Rate, mit der die zwischen zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretende Spannung ansteigt, selbst falls die elektrostatische Kapazität des Piezostapels erhöht wird.

[0023] Somit zeigt sich kaum ein Effekt der Verringerung einer Rate, mit der über den gesamten Beobachtungsbereich gesehene Aufladestrom sich verringert, selbst falls die elektrostatische Kapazität eines Piezostapels sich erhöht.

[0024] Zusätzlich weist der Effekt der Verringerung der Anstiegsrate der zwischen zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretenden Spannung einen Effekt der Verringerung einer Rate auf, bei der eine Energie dem Piezostapel zugeführt wird. Demgegenüber weist der Effekt der Verringerung einer Verringerungsrate des Aufladestroms einen Effekt des Anhebens einer Rate, mit der eine Energie dem Piezostapel zugeführt wird. Somit sind der Effekt der Verringerung der Anstiegsrate der zwischen den zwei Anschlüssen des Piezostapels auftretenden Spannung und der Effekt der Verringerung der Abstiegsrate des Aufladestroms Effekte, die sich gegeneinander aufheben. Folglich ändert sich ein

Profil der zugeführten Energie nicht mit Verstärken der Zeit, und verbleibt angenähert unabhängig von Variationen in der elektrostatischen Kapazität des Piezostapels konstant.

[0025] Aus den vorstehend beschriebenen Gründen kann die dem Piezostapel zugeführte Energie in einem offenen Kreis ohne die Erfordernis zur Erfassung von Variationen in der elektrostatischen Kapazität des Piezostapels und zur Rückkoppelung der Variationen zu der Steuerung der elektrischen Aufladung gesteuert werden.

[0026] Eine zweite Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung bereitzustellen, die einen Fehler zwischen der Größe der in einem Piezostapel akkumulierten, elektrischen Ladung und einer Sollgröße unter Verwendung einfacher Einrichtungen unterdrücken kann.

[0027] Gemäß einer zweiten Ausgestaltung der Erfindung weist eine Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung, bei der ein Mehrfachschalten angewandt wird, auf: einen ersten Leitungsweg, um einen ersten Aufladestrom aus einer Gleichspannungsversorgung zu einem Piezostapel, der an einem Piezobetätigungsglied vorgesehen ist, über eine Induktivität fließen zu lassen, einen zweiten Leitungsweg mit der Induktivität, dem Piezostapel und einer Diode, die miteinander in Reihe geschaltet sind, eine Schaltvorrichtung die an einer Stelle auf dem ersten Leitungsweg vorgesehen ist und wiederholt ein- und ausgeschaltet wird, und eine Steuerungseinrichtung zur Steuerung der Schaltvorrichtung zum Einschalten und Ausschalten. Die Steuerungseinrichtung stellt die Schaltvorrichtung in einen ausgeschalteten Zustand fest ein, wenn die in den Piezostapel akkumulierte, elektrische Ladung einen Sollwert der akkumulierten, elektrischen Ladung erreicht. Der Aufladestrom fließt durch den ersten Leitungsweg und steigt allmählich während einer Einperiode der Schaltvorrichtung an. Der Aufladestrom fließt durch den zweiten Leitungsweg aufgrund eines Freilauffeffekts und verringert sich allmählich während einer Ausperiode der Schaltvorrichtung. Die Steuerungseinrichtung weist auf: eine Einrichtung zur Erfassung eines Fortschrittszustands der elektrischen Aufladung, der ein Verhältnis von gegenwärtig in dem Piezostapel akkumulierten, elektrischen Ladung zu dem Sollwert der akkumulierten, elektrischen Ladung wiedergibt, und eine Stromverringereinrichtung zur Verringerung des Spitzenwerts des in einer Ein-Aus-Periode der Schaltvorrichtung beobachteten Aufladestroms entsprechend einem Anstieg in dem erfassten Fortschrittszustand der elektrischen Aufladung.

[0028] Während der Vorgang zum elektrischen Aufladen des Piezostapels fortgesetzt wird, wird der Aufladestrom verringert. Somit wird, wenn die Schaltvorrichtung zu dem Zeitpunkt ausgeschaltet wird, wenn die Größe der in dem Piezostapel akkumulierten, elektrischen Ladung einen Sollwert für die elektrische Ladung erreicht, lediglich eine kleine Menge Energie durch die Induktivität gehalten. Folglich kann ein Fehler zwischen der Größe der in einem Piezostapel akkumulierten, elektrischen Ladung und einem Sollwert unterdrückt werden.

[0029] Eine dritte Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung zu schaffen, die einen Fehler zwischen der Größe der in einem Piezostapel akkumulierten, elektrischen Ladung und einer Sollgröße der elektrischen Ladung zu unterdrücken, um zu vermeiden, dass unnötige Energie dem Piezostapel zugeführt wird.

[0030] Gemäß einer dritten Ausgestaltung der Erfindung weist eine Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung auf: einen Kondensator zur Akkumulierung elektrischer Ladung, die einem an einem Piezobetätigungsglied vorgesehenen Piezostapel zuzuführen ist, einen ersten Leitungsweg, um einen ersten Aufladestrom aus dem Kondensator zu dem

Piezostapel über eine Induktivität fließen zu lassen, eine Piezostapelaufadeschaltvorrichtung, die an einer Stelle zwischen dem Kondensator und der Induktivität auf dem ersten Leitungsweg vorgesehen ist, einen zweiten Leitungsweg, der einen geschlossenen Stromkreis einschließlich der Induktivität und dem Piezostapel bildet, jedoch nicht den Kondensator und die Piezostapelaufadeschaltvorrichtung aufweist, eine Piezostapeltrennschaltvorrichtung, die in dem zweiten Leitungsweg vorgesehen ist, einen dritten Leitungsweg, der einen Verbindungspunkt zwischen der Induktivität und dem Piezostapel mit dem Kondensator verbindet, und eine Steuerungseinrichtung zur Steuerung der Piezostapelaufadeschaltvorrichtung und der Piezostapeltrennschaltvorrichtung zum Einschalten und Ausschalten. Der erste Aufladestrom fließt während einer Einperiode der Piezostapelaufadeschaltvorrichtung. Ein zweiter Aufladestrom fließt durch den zweiten Leitungsweg aufgrund eines Freilauffeffekts während einer Ausperiode der Piezostapelaufadeschaltvorrichtung. Die Steuerungseinrichtung hält die Piezostapelaufadeschaltvorrichtung in einem ausgeschalteten Zustand fest, wenn die Größe der in dem Piezostapel akkumulierten, elektrischen Ladung einen Sollwert erreicht. Die Steuerungseinrichtung schaltet die Piezostapeltrennschaltvorrichtung aus, um den Piezostapel von dem zweiten Leitungsweg mit demselben Zeitverlauf wie zum Festhalten der Piezostapelaufadeschaltvorrichtung in einen ausgeschalteten Zustand zu trennen. Der dritte Leitungsweg verbindet im wesentlichen die Induktivität mit dem Kondensator, um zu ermöglichen, dass ein Kreisstrom aus der Induktivität zu dem Kondensator aufgrund eines Freilauffeffekts fließt, wenn die Piezostapeltrennschaltvorrichtung ausgeschaltet ist.

[0031] Wenn die Piezostapelaufadeschaltvorrichtung in einem ausgeschalteten Zustand fest eingestellt wird, wird der zweite Leitungsweg ebenfalls blockiert, wodurch vermieden wird, dass in der Induktivität akkumulierte Energie zu dem Piezostapel übertragen wird. Da der dritte Leitungsweg zu diesem Zeitpunkt nicht blockiert ist, wird die in der Induktivität akkumulierte Energie zu dem Kondensator zurückgeführt. Folglich ist es möglich, dem Piezostapel elektrische Ladung in einer Größe zuzuführen, die genau gleich der Sollgröße der elektrischen Ladung ist. Zusätzlich wird eine in der Induktivität akkumulierte Energie zu dem Kondensator über einen Kreisstrom zurückgeführt, der aus der Induktivität zu dem Kondensator zu dem Zeitpunkt fließt, wenn die Größe der akkumulierten, elektrischen Ladung gleich der Sollgröße der elektrischen Ladung wird, wodurch der Wirkungsgrad der Energieverwendung erhöht wird.

[0032] Diese Aufgabe wird durch die in den unabhängigen Ansprüchen angegebenen Maßnahmen gelöst.

[0033] Zusätzliche Aufgaben und Vorteile der Erfindung sind anhand der nachstehenden ausführlichen Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele ersichtlich, wenn diese in Zusammenhang mit den beiliegenden Zeichnungen betrachtet werden. Es zeigen:

[0034] Fig. 1 eine schematische Ansicht einer Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (erstes Ausführungsbeispiel),

[0035] Fig. 2 eine schematische Ansicht eines Kraftstoffeinspritzgeräts für eine Brennkraftmaschine (erstes Ausführungsbeispiel),

[0036] Fig. 3 eine Querschnittsansicht einer Einspritzeinrichtung (erstes Ausführungsbeispiel),

[0037] Fig. 4 einen Graphen, der Variationen in einem Ladestrom der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung mit Verstreichen der Zeit darstellt (erstes Ausführungsbeispiel),

[0038] Fig. 5 einen Graphen, der Änderungen darstellt, die mit Verstreichen der Zeit in verschiedenen Teilen der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung auftreten (erstes Aus-

führungsbeispiel),

[0039] Fig. 6A, 6B und 6C Graphen, die eine Kurve darstellen, die den Betrieb der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung wiedergeben (erstes Ausführungsbeispiel),

5 [0040] Fig. 7 eine schematische Ansicht einer Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (zweites Ausführungsbeispiel),

[0041] Fig. 8A, 8B und 8C Graphen, die eine Kurve darstellen, die den Betrieb der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung darstellen (zweites Ausführungsbeispiel),

10 [0042] Fig. 9 eine schematische Ansicht einer Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (drittes Ausführungsbeispiel),

[0043] Fig. 10 einen Graphen, der Änderungen darstellt, die mit Verstreichen der Zeit in verschiedenen Teilen der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung auftreten (drittes Ausführungsbeispiel),

15 [0044] Fig. 11 eine schematische Ansicht, die eine Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung darstellt (viertes Ausführungsbeispiel),

20 [0045] Fig. 12 einen Graphen, der Änderungen darstellt, die mit Verstreichen der Zeit in verschiedenen Teilen der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung auftreten (viertes Ausführungsbeispiel),

[0046] Fig. 13 eine schematische Ansicht einer Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (fünftes Ausführungsbeispiel),

25 [0047] Fig. 14 einen Graphen, der eine Kurve darstellt, die den Betrieb der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung darstellt (fünftes Ausführungsbeispiel),

30 [0048] Fig. 15 einen Graphen, der einen typischen Betrieb der herkömmlichen Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung darstellt,

[0049] Fig. 16 eine schematische Ansicht einer Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (sechstes Ausführungsbeispiel),

35 [0050] Fig. 17 ein Blockschaltbild von Komponenten, die eine Steuerungsschaltung bilden (sechstes Ausführungsbeispiel),

[0051] Fig. 18 eine schematische Ansicht eines Kraftstoffeinspritzgeräts für eine Brennkraftmaschine (sechstes Ausführungsbeispiel),

[0052] Fig. 19 eine Querschnittsansicht einer Einspritzeinrichtung (sechstes Ausführungsbeispiel),

40 [0053] Fig. 20 eine Darstellung von Variationen in der Piezostapelspannung und dem Ladestrom der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung mit Verstreichen der Zeit (sechstes Ausführungsbeispiel),

45 [0054] Fig. 21 zeigt eine schematische Darstellung einer Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (siebtes Ausführungsbeispiel),

50 [0055] Fig. 22 zeigt ein Blockschaltbild von Komponenten, die eine Steuerungsschaltung bilden (siebtes Ausführungsbeispiel),

[0056] Fig. 23 zeigt eine Darstellung, die Variationen in der Piezostapelspannung und dem Ladestrom der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung mit Verstreichen der Zeit veranschaulicht (siebtes Ausführungsbeispiel),

[0057] Fig. 24 zeigt eine schematische Ansicht einer Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (achtes Ausführungsbeispiel),

60 [0058] Fig. 25 ein Blockschaltbild von Komponenten, die eine Steuerungseinheit bilden (achtes Ausführungsbeispiel),

[0059] Fig. 26 eine Darstellung von Variationen in der Piezostapelspannung und dem Ladestrom der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung mit Verstreichen der Zeit (achtes Ausführungsbeispiel),

[0060] Fig. 27 eine Darstellung des Betriebs einer typischen, herkömmlichen Piezobetätigungsgliedantriebsschal-

tung,

[0061] Fig. 28 eine Darstellung eines Betriebs einer typischen, herkömmlichen Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung,

[0062] Fig. 29 eine schematische Ansicht einer Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (neuntes Ausführungsbeispiel)

[0063] Fig. 30 zeigt Verläufe des Betriebs der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (neuntes Ausführungsbeispiel),

[0064] Fig. 31 zeigt eine schematische Ansicht einer Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (zehntes Ausführungsbeispiel),

[0065] Fig. 32 eine schematische Ansicht einer typischen, herkömmlichen Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung, und

[0066] Fig. 33 Zeitverläufe, die den Betrieb der herkömmlichen Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung darstellen.

#### Erstes Ausführungsbeispiel

[0067] Fig. 1 zeigt den Aufbau einer Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 1, die durch die Erfindung bereitgestellt wird. Die Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 1 wird bei einem Kraftstoffeinspritzgerät einer Vierzylinderdieselmotorkraftmaschine der Common-Rail-Bauart angewendet. Ein Gesamtaufbau des Kraftstoffeinspritzgeräts ist im weiteren Verlauf der Beschreibung beschrieben. Wie es in der Darstellung gezeigt ist, wendet die Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 1 eine Gleichspannungsversorgung 11 an, die eine eingebaute Batterie 111, einen Gleichspannungswandler 112 und einen Pufferkondensator 113 aufweist. Der Gleichspannungswandler 112 erzeugt eine Gleichspannung auf einem Pegel in einem Bereich von einigen zehn bis einigen hundert Volt aus der Batterie 111. Der Pufferkondensator 113 ist mit Ausgangsanschlüssen des Gleichspannungswandlers 112 parallel zu dem Gleichspannungswandler 112 geschaltet. Die Gleichspannungsversorgung 11 gibt eine Spannung zum elektrischen Laden von Piezostapeln 2A, 2B, 2C und 2D aus. Die Batterie 111 ist mit einer Reihenschaltung verbunden, die eine Induktivität (Spule) 1121 und eine Schaltvorrichtung 1122 aufweist, die in dem Gleichspannungswandler 112 untergebracht sind. Wenn die Schaltvorrichtung 1122 eingeschaltet wird, wird in der Induktivität 1121 Energie akkumuliert. Wenn die Schaltvorrichtung 1122 ausgeschaltet wird, erzeugt demgegenüber die Induktivität 1121 eine elektromotorische Kraft aufgrund der akkumulierten Energie und führt die Energie dem Pufferkondensator 113 über eine Diode 1123 zu, wodurch der Kondensator 113 elektrisch geladen wird. Der Pufferkondensator 113 weist eine relativ große, elektrostatische Kapazität auf, die in der Lage ist, selbst während eines Betriebs zum elektrischen Laden der Piezostapel 2A bis 2D seine Spannung angenähert auf einem konstanten Pegel zu halten.

[0068] Eine Induktivität (Spule) 13 dient als Teil eines ersten Leitungswegs 12a, um einen Strom aus dem Pufferkondensator 113, der in der Gleichspannungsversorgung 11 angewendet ist, zu den Piezostapeln 2A bis 2D zum Fließen zu bringen. Der erste Leitungsweg 12a ist tatsächlich eine Reihenschaltung mit der Induktivität 13 und einer ersten Schaltvorrichtung 14, die zwischen der Induktivität 13 und dem Pufferkondensator 113 vorgesehen ist. Die erste Schaltvorrichtung 14 ist ein MOSFET, der in einer derartigen Orientierung verschaltet ist, dass die zwischen den Anschlüssen des Pufferkondensators 113 auftretende Spannung als Rückwärtsvorspannung dient, die an eine erste, parasitäre Diode 141 der ersten Schaltvorrichtung 14 angelegt wird. Zusätz-

lich ist ebenfalls ein zweiter Leitungsweg 12b mit den Piezostapeln 2A bis 2D, der Induktivität 13 und einer zweiten Schaltvorrichtung 15 vorgesehen, die mit einem Verbindungspunkt zwischen der ersten Schaltvorrichtung 14 und der Induktivität 13 verbunden ist. Die Induktivität 13, die Piezostapel 2A bis 2D und die zweite Schaltvorrichtung 15 bilden einen geschlossenen Stromkreis. Die zweite Schaltvorrichtung 15 ist ebenfalls ein MOSFET, der in einer derartigen Orientierung verschaltet ist, dass die zwischen den Anschlüssen des Pufferkondensators 113 auftretende Spannung als Rückwärtsvorspannung dient, die an eine zweite, parasitäre Diode 151 der zweiten Schaltvorrichtung 15 angelegt wird.

[0069] Sowohl der erste Leitungsweg 12a als auch der zweite Leitungsweg 12b teilen gemeinsam die Piezostapel 2A bis 2D, die, wie nachstehend beschrieben, als Ansteuerungsobjekte ausgewählt werden können. Die Piezostapel 2A bis 2D sind mit Schaltvorrichtungen 16A bis 16D jeweils eindeutig zugeordnet in Reihe geschaltet. Zur Unterscheidung der Schaltvorrichtungen 16A bis 16D von der ersten Schaltvorrichtung 14 und der zweiten Schaltvorrichtung 15 werden die Schaltvorrichtungen 16A bis 16D nachstehend als Auswahl Schaltvorrichtungen bezeichnet. Die Schaltvorrichtungen 16A bis 16D werden eingeschaltet, um Aufladeströme zu den jeweiligen Piezostapeln 2A bis 2D zum Fließen zu bringen, die jeweils für eine Einspritzeinrichtung eines Zylinders vorgesehen sind, wie es nachstehend beschrieben ist. Die Auswahl Schaltvorrichtungen 16A bis 16D sind ebenfalls MOSFETs, die in einer derartigen Orientierung geschaltet sind, dass die zwischen den Anschlüssen des Pufferkondensators 113 auftretende Spannung als Rückwärtsvorspannung dient, die an parasitäre Auswahl dioden 161A, 161B, 161C und 161D der Auswahl Schaltvorrichtungen 16A bis 16D jeweils angelegt wird.

[0070] Die Piezostapel 2A bis 2D sind jeweils an einer Einspritzeinrichtung 4 angebracht, wie es in Fig. 2 und 3 gezeigt ist. Die Einspritzeinrichtung 4 ist für jeden Zylinder vorgesehen. Die Piezostapel 2A bis 2D dienen als Schalter zum Einspritzen von Kraftstoff oder zum Stoppen der Kraftstoffeinspritzung für ihre jeweiligen Einspritzeinrichtungen 4.

[0071] Die Gates der ersten Schaltvorrichtung 14, der zweiten Schaltvorrichtung 15 und der Auswahl Schaltvorrichtungen 16A bis 16D sind jeweils mit einer Steuerungsschaltung 18 verbunden, die Impulssteuerungssignale an die Gates führt. Wie es vorstehend beschrieben wurde, werden, wenn irgendwelche der Auswahl Schaltvorrichtungen 16A bis 16D durch deren Gates zugeführten Impulse der Steuerungssignale eingeschaltet werden, die als angesteuerte Objekte dienenden, entsprechenden Piezostapel 2A bis 2D ausgewählt. Die den Gates der ersten Schaltvorrichtung 14 und der zweiten Schaltvorrichtung 15 zugeführten Impulssteuerungssignale schalten ebenfalls die erste Schaltvorrichtung 14 und die zweite Schaltvorrichtung 15 ein und aus, um Vorgänge zum elektrischen Laden und Entladen der Piezostapel 2A bis 2D zu steuern.

[0072] Die Steuerungsschaltung 18 empfängt ein Einspritzsignal aus seiner ECU (elektronische Steuerungseinheit) 3 zur Ausführung einer Gesamtsteuerung der Kraftstoffeinspritzung, wie es nachstehend ausführlich beschrieben ist. Die Steuerung der Kraftstoffeinspritzung selbst ist ebenfalls im weiteren Verlauf beschrieben. Das Einspritzsignal ist ein binärwertiges Signal mit logischen Werten H (hoher Pegel) und L (niedriger Pegel) entsprechend einer Einspritzperiode. Bei der ansteigenden Flanke des Einspritzsignals von dem logischen Wert L zu dem logischen Wert H startet die Steuerungsschaltung 18 einen Vorgang zum elektrischen Laden der Piezostapel 2A bis 2D. Bei der



abfallenden Flanke des Einspritzsignals von dem logischen Wert H auf den logischen Wert L startet demgegenüber die Steuerungsschaltung 18 einen Vorgang zum elektrischen Entladen der Piezostapel 2A bis 2D.

[0073] Ein Widerstand 17 ist in Reihe mit den Piezostapeln 2A bis 2D als eine Komponente geschaltet, die für die Piezostapel 2A bis 2D gemeinsam vorgesehen ist. Die Steuerungsschaltung 18 überwacht eine zwischen den Enden des Widerstands 17 auftretende Spannung zur Erfassung eines Ladestroms oder eines Entladestroms der Piezostapel 2A bis 2D.

[0074] Fig. 2 zeigt den Aufbau eines Kraftstoffeinspritzgeräts einer Vierzylinderdieselmotormaschine der Common-Rail-Bauart, das vier Kraftstoffeinspritzeinrichtungen 4 verwendet, die jeweils mit den Piezostapeln 2A bis 2D versehen sind. Fig. 3 zeigt einen Aufbau jeder der Einspritzeinrichtungen 4. Während Fig. 3 eine der Einspritzeinrichtungen 4 zeigt, die den Piezostapel 2A aufweist, ist der Aufbau der anderen Einspritzeinrichtungen 4 jeweils identisch zu den anderen Piezostapeln 2B bis 2D mit der in Fig. 3 gezeigten Einspritzeinrichtung. Eine Einspritzeinrichtung 4 ist für jeden der Zylinder der Dieselmotormaschine vorgesehen, obwohl in der Figur lediglich eine Einspritzeinrichtung 4 gezeigt ist. Wie es in Fig. 2 gezeigt ist, wird jeder der Einspritzeinrichtungen 4 aus einem Common-Rail 54 mittels einer Versorgungsleitung 55, die das Common-Rail 54 mit der empfangenen Einspritzeinrichtung 4 verbindet, Kraftstoff zugeführt. Kraftstoff wird aus einer Einspritzeinrichtung 4 in die Kraftstoffkammer eines Zylinders, der der Einspritzeinrichtung 4 zugeordnet ist, mit einem Kraftstoffdruck eingespritzt, der in etwa gleich zu dem Druck des Kraftstoffs innerhalb des Common-Rail 54 ist. Der Druck des Kraftstoffs innerhalb des Common-Rail 54 wird nachstehend als Common-Rail-Druck bezeichnet. Eine Hochdruckzupfuhrrpumpe 53 führt Kraftstoff aus einem Tank 51 zu dem Common-Rail 54 mit einem hohen Druck zu.

[0075] Aus dem Common-Rail 54 zu den Einspritzeinrichtungen 4 zugeführter Kraftstoff wird nicht nur zum Einspritzen, sondern ebenfalls zur Erzeugung von Steuerungsöldrücken der Einspritzeinrichtungen 4 verwendet, die Kraftstoff aus den Einspritzeinrichtungen 4 zu dem Tank 51 über eine Niederdruckabfuhrleitung 56 zirkulieren lassen.

[0076] Ein an dem Common-Rail 54 eingebauter Drucksensor 57 erfasst den Common-Rail-Druck. Die ECU 3 steuert ein Strömungseinstellungsventil 52 zur Einstellung der Kraftstoffmenge, die dem Common-Rail 54 zugeführt wird, durch einen Druck auf der Grundlage eines Erfassungsergebnisses, das aus dem Drucksensor 57 ausgehen wird. Der Common-Rail-Druck wird entsprechend anderen Sensoreingängen und dergleichen auf einen korrekten Einspritzdruck gesteuert, der für allgemein bekannte Betriebsbedingungen geeignet ist.

[0077] Wie es in Fig. 3 gezeigt ist, weist die Einspritzeinrichtung 4 eine Form auf, die einem Stab ähnelt. Die Einspritzeinrichtung 4 ist derart installiert, dass der in der Figur gezeigte, untere Abschnitt der Einspritzeinrichtung 4 durch die Wand einer Kraftstoffkammer der Brennkraftmaschine durchdringt, wobei er in die Kraftstoffkammer hineinragt. Die Wand der Kraftstoffkammer und die Kraftstoffkammer selbst sind nicht in der Figur gezeigt. Die Einspritzeinrichtung 4 weist an der Unterseite eine Düse 4a auf, eine Rückdrucksteuerungseinheit 4b in der Mitte und ein Piezobetätigungsglied 4c an der Oberseite.

[0078] Eine Nadel 421 ist innerhalb eines Hauptaufbaus 404 der Düse 4a derart gehalten, dass die Nadel 421 mit einem hohen Freiheitsgrad an dem Rückabschnitt des Hauptaufbaus 404 verschoben werden kann. Die Nadel 421 wird auf einen Ringsitz 4041 gesetzt oder verlässt diesen, der an

dem vorderen Abschnitt des Hauptaufbaus 404 ausgebildet ist. Ein Hochdruckkraftstoff wird aus dem Common-Rail 54 in einem umlaufenden Freiraum 405 des vorderen Abschnitts der Nadel 421 durch einen Hochdruckpfad 401 eingeführt. Wenn die Nadel 421 von dem Ringsitz 4041 getrennt wird, wird Kraftstoff aus einem Nadelloch 403 eingespritzt. Der Druck des durch den Hochdruckpfad 401 eingeführten Kraftstoffs hebt die Nadel 421 von einer ringförmigen Stufenoberfläche 4211 in Aufwärtsrichtung ab.

[0079] Ein als Steuerungsöl verwendeter Kraftstoff wird in einen Freiraum hinter der Nadel 421 aus dem Hochdruckpfad 401 mittels einer Einmündung 407 eingeführt. Der Freiraum hinter der Nadel 421 ist eine Gegendruckkammer 406 zur Erzeugung eines Gegendrucks der Nadel 421. In Zusammenhang mit einer in der Gegendruckkammer 406 vorgesehenen Feder 422 schiebt der Gegendruck die Rückoberfläche 4212 der Nadel 421 in Abwärtsrichtung zu der Position mit gesetzter Nadel.

[0080] Der Gegendruck wird durch die Gegendrucksteuerungseinheit 4b ein- und ausgeschaltet, der durch das Piezobetätigungsglied 4c mit dem Piezostapel 2A angetrieben wird. Es sei bemerkt, dass die anderen Einspritzeinrichtungen 4 mit den Piezostapeln 2B bis 2D jeweils denselben Aufbau wie die Einspritzeinrichtung 4 mit dem Piezostapel 2A aufweisen.

[0081] Die Gegendruckkammer 406 ist stets mit einer Ventilkammer 410 der Gegendrucksteuerungseinheit 4b über eine Auslassmündung 409 verbunden. Die Ventilkammer 410 ist in einer Form erzeugt, bei der eine Decke 4101 der Ventilkammer 410 einen Konus bildet, der nach oben gerichtet ist. Die Ventilkammer 410 ist mit einer Niederdruckkammer 411 an dem obersten Abschnitt der Decke 4101 verbunden. Die Niederdruckkammer 411 ist mit einem Niederdruckpfad 402 verbunden, der mit der Abflussleitung 56 verbunden ist.

[0082] Ein Hochdrucksteuerungspfad 408, der aus dem Hochdruckpfad 401 abzweigt, endet als eine Öffnung an der Unterseite 4102 der Ventilkammer 410.

[0083] Eine Kugel 423, bei der der untere Abschnitt davon horizontal abgeschnitten ist, ist innerhalb der Ventilkammer 410 vorgesehen. Die Kugel 423 ist ein Ventilkörper, der aufwärts und abwärts bewegbar ist. Wenn die Kugel 423 auf der untersten Position gehalten wird, wird die Kugel 423 auf die Unterseite 4102 der Ventilkammer 410 gesetzt, wobei die horizontale Oberfläche des unteren Abschnitts der Kugel 423 auf der Unterseite 4102 der Ventilkammer steckt. Die Ventilkammerunterseite 4102, die nachstehend als Hockdrucksitz bezeichnet wird, dient als Ventilsitz. In dieser Position schließt die Kugel 423 den Hochdrucksteuerungspfad 408. Wenn die Kugel 423 an der höchsten Position gehalten wird, ist demgegenüber das Ventil an der Decke 4101 gesetzt. Die Decke 4101, die nachstehend als Niederdrucksitz bezeichnet ist, dient als ein anderer Ventilsitz. In dieser Position ist der Fluss von Kraftstoff zwischen der Ventilkammer 410 und der Niederdruckkammer 411 abgeschnitten. Somit ist, wenn die Kugel 423 an der untersten Position gehalten ist, die Gegendruckkammer 406 mit der Unterdruckkammer 411 über die Auslassmündung 409 und die Ventilkammer 410 derart verbunden, dass ein auf die Nadel 421 aufgebrachter Gegendruck sich verringert, was veranlasst, dass sich die Nadel 421 von der ringförmigen Stufenoberfläche 4211 entfernt. Wenn die Kugel 423 demgegenüber an der höchsten Position gehalten ist, ist demgegenüber ein Fluss von Kraftstoff zwischen der Gegendruckkammer 406 und der Niederdruckkammer 411 abgeschnitten, und lediglich die Verbindung zwischen der Gegendruckkammer 406 und dem Hochdruckpfad 401 ist geöffnet. In dieser Position steigt der auf die Nadel 421 aufgebrachte Gegendruck, was

verursacht, dass sich die Nadel 421 auf die ringförmige Stufenoberfläche 4211 setzt.

[0084] Die Kugel 423 wird durch einen von dem Piezobetätigungsglied 4c erzeugten Druck angetrieben. Das Piezobetätigungsglied 4c weist einen Kolben 424 mit einem kleinen Durchmesser und einen Kolben 425 mit einem großen Durchmesser auf, die entlang einer horizontalen Öffnung 412 in dem oberen Teil der vertikalen Öffnung 412 mit einem hohen Freiheitsgrad aufwärts und abwärts verschoben werden können. Die Kolben 424 und 425 mit voneinander unterschiedlichen Durchmessern sind über der Niederdruckkammer 411 vorgesehen, wobei der erstere unter dem letzteren positioniert ist. Der Piezostapel 2A ist auf der Oberseite des oberen Kolbens 425 mit dem großen Durchmesser in einer derartigen Orientierung platziert, dass die Kontraktions- und Expansionsrichtungen des Piezostapels 2A mit der vertikalen Richtung übereinstimmen.

[0085] Eine Feder 426 hält den oberen Kolben 425 mit dem großen Durchmesser in einem Zustand, in dem er mit dem Piezostapel 2A in Kontakt gebracht ist. Somit wird der obere Kolben 425 in Aufwärts- oder Abwärtsrichtung durch einen Abstand entsprechend der Größe der Kontraktion oder der Expansion des Piezostapels 2A versetzt.

[0086] Der untere Kolben 424 mit dem kleinen Durchmesser liegt der Kugel 423 gegenüber. Eine Versatzerhöhungskammer 413 ist ein Raum in der vertikalen Öffnung 412 zwischen dem unteren Kolben 424 mit dem kleinen Durchmesser und dem oberen Kolben 425 mit dem großen Durchmesser. Die Versatzerhöhungskammer 413 ist mit Kraftstoff gefüllt. Wenn der Piezostapel 2A expandiert, wird der obere Kolben 425 mit dem großen Durchmesser in die Abwärtsrichtung verschoben, wobei auf den Kraftstoff in der Versatzerhöhungskammer 413 ein Druck ausgeübt wird. Diese Druckkraft wird zu dem unteren Kolben 424 mit dem kleinen Durchmesser durch den Kraftstoff in der Versatzerhöhungskammer 413 übertragen. Da der untere Kolben 424 einen Durchmesser aufweist, der kleiner als der des oberen Kolbens 425 ist, wird die Größe der Expansion des Piezostapels 2A erhöht, wodurch der untere Kolben 424 mit dem kleinen Durchmesser um einen größeren Abstand versetzt wird.

[0087] Die Versatzerhöhungskammer 413 ist mit dem Niederdruckpfad 402 durch ein in der Figur nicht gezeigtes Überprüfungsventil derart verbunden, dass die Versatzerhöhungskammer 413 stets ausreichend mit Kraftstoff aufgefüllt ist. Das Überprüfungsventil ist in einer derartigen Orientierung vorgesehen, dass die Vorwärtsrichtung des Ventils mit einer Richtung zu der Versatzerhöhungskammer 413 übereinstimmt. Wenn der Piezostapel 2A expandiert, um den oberen Kolben 425 mit dem großen Durchmesser in Abwärtsrichtung zu schieben, wird das Überprüfungsventil geschlossen, wodurch verhindert wird, dass Kraftstoff innerhalb der Versatzerhöhungskammer 413 aus der Versatzerhöhungskammer 413 hinausfließt.

[0088] In einem Vorgang zum Einspritzen von Kraftstoff wird zunächst der Piezostapel 2A elektrisch geladen und expandiert, wodurch der untere Kolben 424 abwärts versetzt wird. Somit wird die Kugel 423 nach unten geschoben und verlässt die Decke 4101. Folglich verringert sich der Druck des Kraftstoffs in der Gegendruckkammer 406, da die Kugel 423 auf die Ventilkammerunterseite 4102 gesetzt wird, wodurch die Verbindung aus der Gegendruckkammer 406 zu dem Niederdruckpfad 402 geöffnet wird. Folglich ist eine Kraft zum Trennen der Nadel 421 von dem Sitz gesetzt zu halten, so dass sich die Nadel 421 auf dem Sitz trennt, wodurch das Einspritzen von Kraftstoff gestartet wird.

[0089] In einem Vorgang zum Halten der Kraftstoffein-

spritzung wird demgegenüber der Piezostapel 2A elektrisch entladen und kontrahiert, wodurch die Kraft zum Versetzen der Kugel 423 nach unten entfernt wird. Dabei ist der Druck des Kraftstoffs innerhalb der Ventilkammer 410 niedrig und ein hoher Kraftstoffdruck aus dem Hochdrucksteuereinspfad 408 wird auf die Unterseite der Kugel 423 aufgebracht. Somit wird ein Kraftstoffdruck in Aufwärtsrichtung auf die Kugel 423 insgesamt ausgeübt. Da die nach unten gerichtete Versetzungskraft der Kugel 423 entfernt ist, trennt sich zusätzlich die Kugel 423 von der Ventilkammerunterseite 4102 und wird erneut an die Decke 4101 gesetzt, was verursacht, dass der Druck des Kraftstoffs sich innerhalb der Ventilkammer 410 verringert. Folglich wird die Nadel 421 gesetzt, wodurch die Kraftstoffeinspritzung gestoppt wird.

[0090] Nachstehend ist die durch die Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 18 ausgeführte elektrische Ladungssteuerung beschrieben. Die Ein- und Ausperioden der ersten Schaltvorrichtung 14, die in der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 18 angewendet wird, sind, wie nachstehend beschrieben, eingestellt, und ein Steuerungssignal wird zu der ersten Schaltvorrichtung 14 ausgegeben. Die Einperiode (Einschaltperiode) ist fest eingestellt. Die Ausperiode (Ausschaltperiode) wird derart beendet, dass ihr die nächste Einperiode nachfolgt, indem die erste Schaltvorrichtung 14 eingeschaltet wird, wenn der Ladestrom Null wird. Das Steuerungssignal wird während einer Periode zwischen Zeitpunkten ausgegeben, die vorab durch eine Ausführungszeitgebersteuerung eingestellt sind. Somit wird die erste Schaltvorrichtung 14 in einer Häufigkeit, die von der Zeit abhängt, wiederholt ein- und ausgeschaltet.

[0091] Fig. 4 zeigt Variationen in dem Ladestrom  $I_p$  mit Verstreichen der Zeit. Während einer Einperiode der ersten Schaltvorrichtung 14 fließt ein allmählich ansteigender Ladestrom aus dem Pufferkondensator 113 durch den ersten Leitungsweg 12a über die Induktivität 13 zu den Piezostapeln 2A bis 2D. Während einer Ausperiode der ersten Schaltvorrichtung 14 arbeitet demgegenüber eine elektromotorische Kraft, die in der Induktivität 13 erzeugt wird, als eine an die Diode 151 angelegte Vorwärtsspannung, wodurch veranlasst wird, dass ein sich allmählich verringern-der Ladestrom durch den zweiten Leitungsweg 12b aufgrund eines Freilauffeffekts fließt. In diesem Fall ist die Resonanzfrequenz einer Schaltung mit der Induktivität 13 und den Piezostapeln 2A bis 2D ausreichend niedrig im Vergleich zu der Ein-Aus-Frequenz der ersten Schaltvorrichtung 14, wodurch ermöglicht wird, dass der Signalverlauf als ein Signalverlauf mit einer Dreiecksform betrachtet werden kann.

[0092] Dabei bezeichnet  $I_{pPEAK}$  einen Spitzenwert oder einen Maximalwert des Ladestroms während eines Ein-Aus-Zyklus. Der Spitzenstrom  $I_{pPEAK}$  wird an dem Ende einer Einperiode beobachtet und kann als  $I_{pPEAK} = (V_{dc} - V_p) \times \text{Ton} / L$  ausgedrückt werden, wobei  $V_{dc} - V_p$  eine Spannung bezeichnet, die durch die Gleichspannungsversorgung 11 ausgegeben wird, Ton die Länge der Einperiode (Einschaltperiode) bezeichnet und L den Induktivitätswert der Induktivität 13 bezeichnet. Der nachstehend als Gleichspannungsausgangsspannung bezeichnete Spannungsausgang der Gleichspannungsversorgung 11 ist eine Spannung, die zwischen den Anschlüssen des Pufferkondensators 113 auftritt. Wie vorstehend beschrieben worden ist, wird die Gleichspannungsausgangsspannung  $V_{dc} - V_p$  als konstante Spannung betrachtet.

[0093] Wie es in Fig. 5 gezeigt ist, weist die Piezostapelspannung  $V_p$  ein Profil auf, das einen anfänglichen Wert von Null zu dem Zeitpunkt zeigt, zu dem ein Vorgang zum elektrischen Laden der Piezostapel 2A bis 2D gestartet wird, und eine Kurve auf, die mit Verstreichen der Zeit allmählich an-

steigt. Während der Einperiode der ersten Schaltvorrichtung 14 verringert sich somit eine Spannung ( $V_{dc} - dc - V_p$ ), die an die Induktivität 13 angelegt wird, allmählich, während der Vorgang zum elektrischen Laden der Piezostapel 2A bis 2D andauert. Da die in der Induktivität 13 induzierte elektromotorische Kraft sich ebenfalls allmählich verringert, verringert der Gradient des Ladestroms  $I_p$ , der während der Einperiode fließt, sich folglich ebenfalls, während der Vorgang zum elektrischen Laden der Piezostapel 2A bis 2D andauert. Erfindungsgemäß ist die Einperiode, wie vorstehend beschrieben, fest eingestellt. Somit weist der Ladestrom  $I_p$  ein Profil auf, der eine Kurve zeigt, die mit Verstreichen der Zeit absinkt, im Gegensatz zu der ansteigenden Kurve der Piezostapelspannung  $V_p$ , während sich eine Folge dreieckiger Signalverläufe während des gesamten Beobachtungsbereichs zeigt.

[0094] Da die Piezostapelspannung  $V_p$  umgekehrt proportional zu der elektrostatischen Kapazität  $C$  der Piezostapel 2A bis 2D ist, hat ein großer Wert der Kapazität  $C$  einen Effekt der Reduzierung einer Rate, mit der die Piezostapelspannung  $V_p$  ansteigt.

[0095] Der Effekt der Reduzierung der Anstiegsrate der Piezostapelspannung  $V_p$  weist einen Effekt der Reduzierung einer Rate, mit der eine an die Induktivität 13 angelegte Spannung sich während der Einperiode der ersten Schaltvorrichtung 14 verringert, und somit einen Effekt der Reduzierung einer Rate auf, bei der sich der über den gesamten Beobachtungsbereich zu beobachtende Ladestrom  $I_p$  verringert. Der Effekt der Reduzierung einer Verringerungsrate der an die Induktivität 13 während der Einschaltperiode der ersten Schaltvorrichtung 14 angelegten Spannung und der Effekt der Reduzierung der Verringerungsrate des Ladestroms  $I_p$ , der über den gesamten Beobachtungsbereich gesehen wird, weist einen Effekt der Erhöhung einer Rate auf, mit der die elektrische Ladung den Piezostapeln 2A bis 2D zugeführt wird, und somit einen Effekt der Erhöhung einer Rate, mit der die Piezostapelspannung  $V_p$  ansteigt. Somit ändert sich das Profil der Piezostapelspannung  $V_p$  entlang der Zeitachse mit Anstieg in der elektrostatischen Kapazität der Piezostapel 2A bis 2D kaum.

[0096] Da das Profil der Piezostapelspannung  $V_p$  entlang der Zeitachse sich mit Anstiegen in der elektrostatischen Kapazität der Piezostapel 2A bis 2D kaum ändert, ändert sich das Profil des Ladestroms  $I_p$  entlang der Zeitachse ebenfalls kaum. Zusätzlich weisen die kleinen Effekte der Erhöhungen in der elektrostatischen Kapazität der Piezostapel 2A bis 2D auf die Piezostapelspannung  $V_p$  und den Ladestrom  $I_p$  die folgende Eigenschaft auf. Da die Größe der dem Piezostapel 2A bis 2D pro Zeiteinheit zugeführten Energie als Produkt der Piezostapelspannung  $V_p$  und des Ladestroms  $I_p$  ausgedrückt wird, weist der Effekt der Reduzierung der Anstiegsrate der Piezostapelspannung  $V_p$  einen Effekt der Reduzierung einer Rate auf, bei der Energie pro Zeiteinheit zugeführt wird. Demgegenüber weist der Effekt der Reduzierung der Verringerungsrate des Ladestroms  $I_p$  einen Effekt der Erhöhung einer Rate auf, zu der Energie pro Zeiteinheit zugeführt wird. Somit sind der Effekt der Reduzierung der Anstiegsrate der Piezostapelspannung  $V_p$  und der Effekt der Reduzierung der Verringerungsrate des Ladestroms  $I_p$  Effekte, die sich gegenseitig auslöschen. Mithin ist es möglich, die Abhängigkeit der Größen von pro Zeiteinheit zugeführter Energie von Variationen in der elektrostatischen Kapazität der Piezostapel 2A bis 2D, die durch Änderungen in der Umgebungstemperatur und dergleichen erzeugt werden, weiter zu verringern.

[0097] Fig. 6A, 6B und 6C zeigen Graphen, die jeweils Änderungen in dem Piezostapelstrom  $I_p$ , der Piezostapelspannung  $V_p$  und der akkumulierten Energie  $E$  mit Verstrei-

chen der Zeit zeigen. Die Darstellungen sind für unterschiedliche Werte der elektrostatischen Kapazität  $C$  der Piezostapel 2A bis 2D gegeben. Wie es vorstehend beschrieben worden ist, weist die Piezostapelspannung  $V_p$  ein Profil auf, das entlang der Zeitachse einen allmählichen Anstieg zeigt. Demgegenüber weist der Ladestrom  $I_p$  ein Profil auf, das entlang der Zeitachse einen allmählichen Abstieg aufweist. In Bezug auf die zugeführte Energie  $E$  wird ein Profil beobachtet, das mit Verstreichen der Zeit einen linearen Anstieg zeigt.

[0098] Zusätzlich gibt ein Vergleich von Fig. 6A, 6B und 6C miteinander an, dass, selbst falls die elektrostatische Kapazität  $C$  der Piezostapel 2A bis 2D ansteigt, die Anstiegsrate der Piezostapelspannung  $V_p$  und die Abfallrate des Ladestroms  $I_p$  lediglich gering verringert werden, während sich die Zufuhr der Energie  $E$  kaum ändert.

[0099] Somit kann lediglich durch Festeinstellen der Aufladungsperiode der Piezostapel 2A bis 2D und durch Nichtausführen einer Rückkoppelungssteuerung die Größe der den Piezostapeln 2A bis 2D zugeführten Energie auf einen konstanten Wert gehalten werden, selbst falls sich die elektrostatische Kapazität  $C$  der Piezostapel 2A bis 2D ändert. [0100] Die Piezostapel 2A bis 2D werden während Ein- und Ausperioden der zweiten Schaltvorrichtung 15 elektrisch entladen. Genauer fließt während einer Einperiode ein Entladestrom durch einen Pfad, der die Piezostapel 2A bis 2D → die Induktivität 13 → die zweite Schaltvorrichtung 15 und die parasitären Ausfalldioden 161A–161D aufweist. Während einer Ausperiode fließt demgegenüber ein Entladestrom durch einen Pfad, der die Piezostapel 2A bis 2D → die Induktivität 13 → die erste parasitäre Diode 141 → den Pufferkondensator 113 und die parasitären Ausfalldioden 161A–161D aufweist, wodurch die elektrische Ladung oder die in den Piezostapeln 2A bis 2D gespeicherte Energie zu dem Pufferkondensator 113 zurückgeführt wird.

## Zweites Ausführungsbeispiel

[0101] Wie es vorstehend beschrieben worden ist, ist der Effekt der Temperatur auf die Induktivität 13 im Vergleich zu dem Effekt auf den Piezostapeln 2A bis 2D relativ gering. Jedoch wird befürchtet, dass der tatsächliche Induktivitätswert von Induktivität zu Induktivität variiert. Im Hinblick auf dieses Problem wird gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel die Genauigkeit der Steuerung einer den Piezostapeln 2A bis 2D zugeführten Energie verbessert.

[0102] Fig. 7 zeigt den Aufbau einer Piezobetätigungs-gliedantriebsschaltung 1A, die in dem Kraftstoffeinspritzgerät angewandt wird, wie es durch das zweite Ausführungsbeispiel bereitgestellt wird. Komponenten der in der Figur gezeigten Piezobetätigungs-gliedantriebsschaltung 1A, die durch die gleichen Bezugszeichen wie die gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel angewandten Komponenten bezeichnet sind, weisen identische Operationen wie die gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel angewandten Komponenten auf. Somit werden lediglich die Unterschiede zwischen dem ersten und dem zweiten Ausführungsbeispiel beschrieben.

[0103] Da das zweite Ausführungsbeispiel denselben Aufbau wie das erste Ausführungsbeispiel mit Ausnahme der Piezobetätigungs-gliedantriebsschaltung 1A aufweist, ist die nachfolgende Beschreibung auf die Unterschiede zwischen den ersten und zweiten Ausführungsbeispielen gerichtet.

[0104] Anstelle des vorab Festeinstellens der Länge einer anfänglichen Einschaltperiode zum Starten des Vorgangs des elektrischen Ladens der Piezostapel 2A bis 2D stellt die Steuerungsschaltung 18A, die in der Piezobetätigungs-glied-

antriebsschaltung 1A angewandt wird, eine Ausperiode ein, wenn der durch den Widerstand 17 erfasste Ladestrom  $I_p$  einen Stromwert erreicht, der vorab bestimmt wurde. Dann wird eine Zeitdauer von dem Zeitpunkt, zu dem die erste Schaltvorrichtung 14 eingeschaltet worden ist, bis zu dem Zeitpunkt, bis der Ladestrom  $I_p$  den vorab bestimmten Stromwert erreicht, gemessen, und das Ergebnis der Messung wird nachstehend als Länge Ton der Einperiode verwendet.

[0105] In diesem Fall kann ein Effekt der Variationen in dem Induktivitätswert von einer Induktivität 13 zu einer anderen durch korrektes Ändern der Einperiode der ersten Schaltvorrichtung 14 eliminiert werden. Somit ist der anfängliche Wert des Ladestroms  $I_{pPEAK}$  gleich zu dem vorab bestimmten Stromwert. Als Ergebnis kann die elektrische Ladekennlinie im wesentlichen gleichförmig unter allen Piezobetätigungsgliedantriebsschaltungen gemacht werden.

[0106] Fig. 8A, 8B und 8C zeigen Graphen, die jeweils Änderungen in dem Piezostapelstrom  $I_p$ , der Piezostapelspannung  $V_p$  und der in den Piezostapel 2A bis 2D akkumulierten Gesamtenergie  $E$  mit Verstreichen der Zeit darstellen. Die Darstellungen sind jeweils für unterschiedliche Werte für den Induktivitätswert  $L$  der Induktivität 13 vorgesehen. Wie es in den Figuren dargestellt ist, wird für einen größeren Wert des Induktivitätswerts  $L$  die Einperiode länger. Jedoch verbleiben die Profile des Piezostapelstroms  $I_p$ , der Piezostapelspannung  $V_p$  und der in den Piezostapeln 2A bis 2D akkumulierten Gesamtenergie  $E$  entlang der Zeitachse dieselben.

[0107] Wie es vorstehend beschrieben worden ist, können Variationen in dem Induktivitätswert  $L$  von einer Induktivität 13 zu einer anderen in der Länge der Einperiode absorbiert werden, wodurch ermöglicht wird, den Vorgang des elektrischen Ladens der Piezostapel 2A bis 2D mit einem hohen Genauigkeitsgrad zu steuern.

[0108] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel wird die Länge Ton der Einperiode für jede Expansion der Piezostapel eingestellt. Es sei jedoch bemerkt, dass die Länge Ton der Einperiode ebenfalls auf einen korrekten Wert eingestellt werden kann, lediglich wenn der Zündschalter eingeschaltet wird, wenn die Batterie ersetzt wird, oder in anderen Fällen.

#### Drittes Ausführungsbeispiel

[0109] Fig. 9 zeigt den Aufbau einer Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 1B, die in dem Kraftstoffeinspritzgerät gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel angewandt wird. Das dritte Ausführungsbeispiel wendet eine Steuerungsschaltung 18B an, die sich von der Steuerungsschaltung 18 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel unterscheidet. Komponenten der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 1B gemäß der Figur, die durch dieselben Bezugszeichen wie die in dem ersten Ausführungsbeispiel angewandten Komponenten bezeichnet sind weisen identische Funktionen wie die in dem ersten Ausführungsbeispiel angewandten Komponenten auf. Somit sind lediglich die Unterschiede zwischen dem dritten und dem ersten Ausführungsbeispiel in der nachstehenden Beschreibung fokussiert. Die Grundeinstellung der Steuerungsschaltung 18B ist dieselbe wie gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel. Die Länge der Einperiode der ersten Schaltvorrichtung 14 ist zur Unterdrückung von Variationen in der zugeführten Energie fest eingestellt, selbst falls die elektrostatische Kapazität der Piezostapel 2A bis 2D sich ändert. Die Steuerungsschaltung 18B steuert einen durch die Gleichspannungsversorgung 11 erzeugte Spannung entsprechend einem Eingangs-Com-

mon-Rail-Druck, der durch den Drucksensor 57 erfasst wird, der in Fig. 2 gezeigt und als Druckerfassungseinrichtung verwendet wird. Somit wird die durch die Gleichspannungsversorgung 11 erzeugte Spannung auf der Grundlage der Ein-Aus-Frequenz der Schaltvorrichtung 1122 während eines Vorgangs zum elektrischen Laden des Pufferkondensators 113 eingestellt. In dieser Steuerung wird die Ein-Aus-Frequenz der Schaltvorrichtung 1122 auf einen Wert proportional zu dem Common-Rail-Druck erhöht, um die durch die Gleichspannungsversorgung 11 erzeugte Spannung zu erhöhen.

[0110] Da  $I_{pPEAK} = (V_{dc} - dc - V_p) \times \text{Ton}/L$  gilt, wie es vorstehend beschrieben ist, indem die von der Gleichspannungsversorgung 11 ausgegebene Spannung  $V_{dc} - dc$  erhöht wird, kann der Ladestrom  $I_{pPEAK}$  erhöht werden und kann die Anstiegsrate der in den Piezostapeln 2A bis 2D akkumulierten Energie erhöht werden, wie es in Fig. 10 gezeigt ist. Somit kann den Piezostapeln 2A bis 2D Energie entsprechend dem Common-Rail-Druck zugeführt werden.

[0111] Zum Abheben der Kugel 423 in der Einspritzrichtung 4 ist es erforderlich, eine Druckkraft zu erzeugen, die größer als eine Kraft des Drucks des Kraftstoffs in dem Hochdrucksteuerring 408 ist, das heißt, eine Kraft zum Drücken der Kugel 423 in die Aufwärtsrichtung zu erzeugen. Falls der Common-Rail-Druck hoch ist, müssen somit die Piezostapel 2A bis 2D eine große Druckkraft erzeugen. Falls der Common-Rail-Druck niedrig ist, ist demgegenüber die erzeugte Druckkraft aufgrund der in den Piezostapeln 2A bis 2D akkumulierten, elektrischen Ladung überschüssig. Da die zum Abheben der Kugel 423 erforderliche Druckkraft in Abhängigkeit von dem Common-Rail-Druck variiert, ändert sich ebenfalls die von den Piezostapeln 2A bis 2D erforderliche Zeit zur Erzeugung einer Druckkraft, die gleich dem erforderlichen Wert ist. Somit wird ein Zeitverlauf zum Abheben der Kugel 423 beeinträchtigt. Folglich ändern sich der Zeitverlauf zum Einspritzen von Kraftstoff und die Menge des eingespritzten Kraftstoffs ebenfalls.

[0112] Entsprechend dem Kraftstoffeinspritzgerät gemäß diesem Ausführungsbeispiel ist die Menge von zugeführter Energie um so höher, je höher der Common-Rail-Druck ist. Somit kann bei einem hohen Common-Rail-Druck die Kugel 423 in einem stabilen Zustand aufgrund der hohen Größe der zugeführten Energie abgehoben werden, wodurch ermöglicht wird, eine anormale Einspritzung von Kraftstoff und andere Anomalitäten zu vermeiden. Falls der Common-Rail-Druck niedrig ist, ist es demgegenüber möglich, Energie korrekt in einer Größe zuzuführen, die für den niedrigen Common-Rail-Druck geeignet ist. Falls der Common-Rail-Druck hoch ist, jedoch die von den Piezostapeln 2A bis 2D erzeugte Druckkraft nicht hoch ist, steigt die Anstiegsrate der zugeführten Energie an, weshalb ein Vorgang zum Abheben der Kugel 423 mit einem vorbestimmten Zeitverlauf unabhängig von dem Common-Rail-Druck gestartet werden kann. Folglich kann der Zeitverlauf des Startens des Vorgangs zum Abheben der Kugel 423 unter allen Piezobetätigungsgliedantriebsschaltungen gleichförmig gemacht werden.

#### Viertes Ausführungsbeispiel

[0113] Fig. 11 zeigt den Aufbau einer Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 1C, die in dem Kraftstoffeinspritzgerät gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel angewandt ist. Gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel ist eine Steuerungsschaltung 18C angewendet, die sich von der Steuerungsschaltung 18B gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel unterscheidet. Komponenten der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 1C, die in der Figur gezeigt sind, die

mit denselben Bezugszeichen wie die Komponenten bezeichnet sind, die gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel angewendet werden, weisen identische Funktionen wie die Komponenten gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel auf. Somit werden lediglich Unterschiede zwischen dem dritten und dem vierten Ausführungsbeispiel in der nachstehenden Beschreibung fokussiert. Im Fall des dritten Ausführungsbeispiels wird die von der Gleichspannungsversorgung 11 ausgegebene Spannung bei der Ausführung der Steuerung zur korrekten Einstellung der Größe einer zugeführten Energie entsprechend dem Common-Rail-Druck variiert. In dem Fall des vierten Ausführungsbeispiels wird demgegenüber die Steuerung in einer anderen Weise ausgeführt. Die Grundeinstellung der Steuerungsschaltung 18C ist dieselbe wie gemäß dem ersten bis dritten Ausführungsbeispiel. Die Länge der Einperiode der ersten Schaltvorrichtung 14 ist fest eingestellt, um Variationen in der zugeführten Energie zu unterdrücken, falls sich die elektrostatische Kapazität der Piezostapel 2A bis 2D ändert. Dann verzögert die Steuerungsschaltung 18C den Einschaltvorgang der ersten Schaltvorrichtung 14, nachdem der Ladestrom Null geworden ist. Eine Zeitperiode zwischen dem Ende einer elektrischen Ladepériode, wobei ein Freilaufstrom verwendet wird, und dem Start der Einperiode der ersten Schaltvorrichtung 14 ist eine Ladungspausenperiode, in der kein Ladestrom fließt. In dem Fall der gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel ausgeführten Steuerung wird die Länge der Ausperiode umgekehrt proportional zu dem Anstieg des Common-Rail-Drucks erhöht, um die Länge der Ladungspausenperiode zu verringern.

[0114] Wie es in Fig. 12 gezeigt ist, ist die Größe des über den gesamten Beobachtungsbereich gesehenen Ladestroms umso kleiner, je größer die Länge der Ladungspausenperiode ist, weshalb die Anstiegsrate der zugeführten Energie umso geringer ist. Folglich ist es möglich, im wesentlichen dieselben Wirkungen wie gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel zu erzielen.

#### Fünftes Ausführungsbeispiel

[0115] Fig. 13 zeigt den Aufbau einer Piezobetätigungs-gliedantriebsschaltung 1D, die in einem Kraftstoffeinspritzgerät gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel angewandt wird. Das fünfte Ausführungsbeispiel wendet eine Steuerungsschaltung 18D an, die sich von der Steuerungsschaltung 18B gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel unterscheidet. Komponenten der Piezobetätigungs-gliedantriebsschaltung 1D gemäß der Figur, die durch dieselben Bezugszeichen wie die Komponenten gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel bezeichnet sind, weisen identische Funktionen wie die Komponenten gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel auf. Somit werden lediglich die Unterschiede zwischen dem dritten und dem fünften Ausführungsbeispiel in der nachstehenden Beschreibung fokussiert. Die in der Piezobetätigungs-gliedantriebsschaltung 1D verwendete Steuerungsschaltung 18D weist im wesentlichen denselben Aufbau wie die Steuerungsschaltung 18A gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel auf, wobei die zum Erreichen des anfänglichen Werts des Spitzenpegels IpPEAK eines durch die erste Schaltvorrichtung 14 fließenden Leitungsstroms erforderliche Periode Ton als darauffolgende Einperiode eingestellt wird. Zusätzlich wird in dem Fall des fünften Ausführungsbeispiels der Anfangswert des Spitzenpegels IpPEAK des Leitungsstroms entsprechend einem erfassten Common-Rail-Druck eingestellt, oder der anfängliche Wert des Spitzenpegels IpPEAK des Leitungsstroms wird entsprechend einem erfassten Common-Rail-Druck variiert. Genauer wird der eingestellte, anfängliche Wert des Spitzenpegels Ip-

PEAK des Leitungsstroms für einen hohen Common-Rail-Druck erhöht. Für einen niedrigen Common-Rail-Druck wird demgegenüber der eingestellte, anfängliche Wert des Spitzenpegels IpPEAK des Leitungsstroms verringert. Folglich ist es möglich, im wesentlichen dieselben Effekte der adaptiven Energiezufuhrsteuerung wie gemäß dem dritten und vierten Ausführungsbeispiel zu erreichen.

[0116] Fig. 14 zeigt einen Graphen, der ein Experimentergebnis darstellt, das eine Beziehung zwischen der den in dem Piezobetätigungs-glied angewandten Piezostapeln 2A bis 2D zugeführten Energie und dem anfänglichen Wert des Ladestromspitzenwerts IpPEAK wiedergibt. Die vertikale Achse gibt die Größe der in den in dem Piezobetätigungs-glied angewandten Piezostapeln 2A bis 2D akkumulierten Energie während einer Periode von 150 µs an. Demgegenüber gibt die horizontale Achse den Ladestromwert IpPEAK an. Wie es in der Figur gezeigt ist, gibt die Beziehung an, dass die Größe der Energie mit dem Ladestromspitzenwert IpPEAK fast linear ansteigt. Somit ist es durch Einstellung des anfänglichen Werts des Ladestromspitzenwerts IpPEAK entsprechend dem Common-Rail-Druck möglich, Energie in einer Größe zu akkumulieren, die für den Common-Rail-Druck geeignet ist.

[0117] Es sei bemerkt, dass tatsächlich die Größe der den in dem Piezobetätigungs-glied angewandten Piezostapeln 2A bis 2D zugeführten Energie ebenfalls kontinuierlich und allmählich entsprechend dem Anstieg des Common-Rail-Drucks erhöht werden kann. Als eine Alternative werden der Common-Rail-Druck und die elektrische Ladungsperiode jeweils in eine Vielzahl von Stufen unterteilt, und eine Stufe des Common-Rail-Drucks wird einer Stufe der elektrischen Ladungsperiode direkt (eins zu eins) zugeordnet.

[0118] Zusätzlich kann zur Einstellung der Größe der den Piezostapeln zugeführten Energie entsprechend dem Common-Rail-Druck die Piezobetätigungs-gliedantriebsschaltung nicht nur in den Aufbauten gemäß dem dritten und vierten Ausführungsbeispiel ausgelegt werden, sondern ebenfalls in irgendeinem beliebigen, anderen Aufbau ausgelegt werden, solange die Größe der den Piezostapeln zugeführten Energie variiert wird.

[0119] Wie es vorstehend beschrieben worden ist, weisen die Ausführungsbeispiele jeweils einen Aufbau auf, bei dem eine Einspritzeinrichtung eine Gegendrucksteuerungseinheit zur Erhöhung und zur Verringerung des Drucks des Kraftstoffs in der Gegendruckkammer auf, und die Kugel wird unter Verwendung eines Öldrucks in der Versatzerhöhungskammer angetrieben. Es sei bemerkt, dass der Umfang der Erfindung jedoch nicht auf diese Ausführungsbeispiele begrenzt ist. Beispielsweise kann die Erfindung ebenfalls auf einen Aufbau angewendet werden, bei dem ein Piezostapel eine Nadel durch einen Öldruck antreibt, wie es in der JP-B2-6-12101 offenbart ist.

[0120] Weiterhin kann die Erfindung nicht nur auf ein Piezobetätigungs-glied zur Kraftstoffeinspritzsteuerung, die durch eine Einspritzeinrichtung ausgeführt wird, angewendet werden, sondern kann ebenfalls auf einen Vorgang zum Antrieb eines Piezobetätigungs-glieds angewendet werden, das in anderen Anwendungen verwendet wird.

#### Sechstes Ausführungsbeispiel

[0121] Fig. 16 zeigt den Aufbau einer Piezobetätigungs-gliedantriebsschaltung 201 gemäß der Erfindung. Die Piezobetätigungs-gliedantriebsschaltung 201 wird bei einem Kraftstoffeinspritzsystem der Common-Rail-Bauart angewendet, das in einer Vierzylinderdieselmotormaschine verwendet wird. Der Gesamtaufbau des Kraftstoffeinspritzsystems ist später beschrieben. Wie es in der Figur gezeigt

ist, wendet die Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 201 eine Gleichspannungsversorgung 211 an, die eine eingebaute Batterie 311, einen Gleichspannungswandler 312 und einen Pufferkondensator 313 aufweist. Der Gleichspannungswandler 312 erzeugt eine Gleichspannung mit einem Pegel in einem Bereich, der von einigen zehn bis einigen hundert Volt reicht, aus der Batterie 311. Der Pufferkondensator 313 ist mit Ausgangsanschlüssen des Gleichspannungswandlers 312 parallel zu dem Gleichspannungswandler 312 verbunden. Die Gleichspannungsversorgung 211 gibt eine Spannung zum elektrischen Laden von Piezostapeln 202A, 202B, 202C und 202D aus. Die eingebaute Batterie 311 ist mit einer Reihenschaltung verbunden, die eine Induktivität (Spule) 3121 und eine Schaltvorrichtung 3122 aufweist, die in dem Gleichspannungswandler 312 untergebracht sind. Wenn die Schaltvorrichtung 3122 eingeschaltet wird, wird Energie in die Induktivität 3121 akkumuliert. Wenn die Schaltvorrichtung 3122 ausgeschaltet wird, erzeugt demgegenüber die Induktivität 3121 eine elektromotorische Kraft aufgrund der akkumulierten Energie und führt die Energie dem Pufferkondensator 313 über eine Diode 3123 zu, wobei der Kondensator 313 elektrisch geladen wird. Der Pufferkondensator 313 weist eine relativ große elektrostatische Kapazität auf, die in der Lage ist, seine Spannung selbst während eines Vorgangs zum Laden der Piezostapel 202A bis 202D angenähert auf einem konstanten Pegel zu halten.

[0122] Eine Induktivität 213 dient als ein Teil eines ersten Leitungsweges 212a, um einen Strom aus dem Pufferkondensator 313, der in der Gleichspannungsversorgung 211 untergebracht ist, zu den Piezostapeln 202A bis 202D zum Fließen zu bringen. Der erste Leitungsweg 212a ist eine Reihenschaltung, die die Induktivität 213 und eine erste Schaltvorrichtung 214 aufweist, die zwischen der Induktivität 213 und dem Pufferkondensator 313 vorgesehen ist. Die erste Schaltvorrichtung 214 ist ein MOSFET, der in einer derartigen Orientierung verschaltet ist, dass die zwischen den Anschlüssen des Pufferkondensators 313 auftretende Spannung als Rückwärtvorspannung dient, die an eine parasitäre Diode 341 der ersten Schaltvorrichtung 214 angelegt wird.

[0123] Zusätzlich ist ebenfalls ein zweiter Leitungsweg 212b vorgesehen, der die Piezostapel 202A bis 202D, die Induktivität 213 und eine zweite Schaltvorrichtung 215 aufweist, die mit einem Verbindungspunkt zwischen der ersten Schaltvorrichtung 214 und der Induktivität 213 verbunden ist. Die Induktivität 213, die Piezostapel 202A bis 202D und die zweite Schaltvorrichtung 215 bilden einen geschlossenen Stromkreis. Die zweite Schaltvorrichtung 215 ist ebenfalls ein MOSFET, der in einer derartigen Orientierung verschaltet ist, dass die zwischen den Anschlüssen des Pufferkondensators 313 auftretende Spannung als Rückwärtvorspannung dient, die an einer zweiten, parasitären Diode 351 der zweiten Schaltvorrichtung 215 angelegt wird.

[0124] Sowohl der erste Leitungsweg 212a als auch der zweite Leitungsweg 212b teilen gemeinsam die Piezostapel 202A bis 202D, die als Antriebsobjekte, wie nachstehend beschrieben, ausgewählt werden können. Die Piezostapel 202A bis 202D sind zu Schaltvorrichtungen 216A bis 216D jeweils eindeutig in Reihe geschaltet. Zur Unterscheidung der Schaltvorrichtungen 216A bis 216D von der ersten Schaltvorrichtung 214 und der zweiten Schaltvorrichtung 215 werden die Schaltvorrichtungen 216A bis 216D jeweils nachstehend als Auswahlaltvorrichtungen bezeichnet. Die Schaltvorrichtungen 216A bis 216D werden eingeschaltet, um Aufladeströme jeweils zu den Piezostapeln 202A bis 202D zum Fließen zu bringen, die jeweils für eine Einspritzeinrichtung eines Zylinders vorgesehen sind. Die Auswahlaltvorrichtungen 216A bis 216D sind ebenfalls MOS-

FETS, die in einer derartigen Orientierung verschaltet sind, dass die zwischen den Anschlüssen des Pufferkondensators 313 auftretende Spannung als Rückwärtvorspannung dient, die jeweils an parasitäre Auswahlaltioden 361A, 361B, 361C und 361D der Auswahlaltvorrichtungen 216A bis 216D angelegt wird.

[0125] Wie nachstehend beschrieben ist, sind die Piezostapel 202A bis 202D jeweils an eine Einspritzeinrichtung 204 gemäß Fig. 18 und 19 angebracht. Die Einspritzeinrichtung 204 ist für jeden Zylinder vorgesehen. Die Piezostapel 202A bis 202D dienen als Schalter zum Einspritzen von Kraftstoff oder zum Stoppen von Kraftstoffeinspritzung für ihre jeweiligen Einspritzeinrichtungen 204.

[0126] Ein Widerstand 217 ist in Reihe mit den Piezostapeln 202A bis 202D als eine Komponente verschaltet, die gemeinsam für die ersten und zweiten Leitungsweg 212a und 212b ist. Eine Steuerungsschaltung 218 überwacht eine zwischen den zwei Enden des Widerstands 217 auftretende Spannung zur Erfassung eines Ladestroms oder eines Entladestroms der Piezostapel 202A bis 202D. Die Steuerungsschaltung 218 erfasst ebenfalls eine zwischen den zwei Anschlüssen jedes Piezostapels 202A bis 202D auftretende Spannung. Die zwischen den zwei Anschlüssen jedes der Piezostapel 202A bis 202D auftretende Spannung wird nachstehend als Piezostapelspannung bezeichnet.

[0127] Die Gates der ersten Schaltvorrichtung 214, der zweiten Schaltvorrichtung 215 und der Auswahlaltvorrichtungen 216A bis 216D sind jeweils mit einer Steuerungsschaltung 218 verbunden, die Impulssteuerungssignale zu den Gates zuführt. Wie vorstehend beschrieben, werden, wenn irgendwelche der Auswahlaltvorrichtungen 216A bis 216D durch deren Gates zugeführten Steuerungssignalimpulse eingeschaltet werden, die entsprechenden Piezostapel 202A bis 202D ausgewählt, die als Antriebsobjekte dienen. Die den Gates der ersten Schaltvorrichtung 214 und der zweiten Schaltvorrichtung 215 zugeführten Impulssteuerungssignale schalten die erste Schaltvorrichtung 214 und die zweite Schaltvorrichtung 215 ebenfalls ein und aus, um Vorgänge zum elektrischen Laden und Entladen der Piezostapel 202A bis 202D zu steuern. Die Vorgänge zum elektrischen Laden und Entladen der Piezostapel 202A bis 202D werden auf der Grundlage eines Aufladestroms und eines Entladestroms, die unter Verwendung des Widerstands 217 erfasst werden, als auch einer Piezostapelspannung durchgeführt, die der Steuerungsschaltung 218 zugeführt wird. Zusätzlich empfängt die Steuerungsschaltung 218 ein Einspritzsignal als einen Befehl aus einer ECU (elektronischen Steuerungseinheit) 203, die nachstehend beschrieben ist.

[0128] Fig. 17 zeigt eine Darstellung des Aufbaus eines Mechanismus zur Implementierung einer elektrischen Ladesteuerung, die durch die Steuerungsschaltung 218 ausgeführt wird. Wie es in Fig. 17 gezeigt ist, werden ein Erfassungssignal, das die Piezostapelspannung wiedergibt, und ein Sollspannungssignal der Steuerungsschaltung 218 zugeführt, die einen Differenzverstärker 381 anwendet, der als eine (nachstehend als Ladungsfortschrittszustandserfassungseinrichtung bezeichnete) Einrichtung zur Erfassung des Fortschrittszustands der elektrischen Ladung dient. Der Differenzverstärker 381 gibt als Ergebnis einer Subtraktion des Piezostapelspannungserfassungssignals von dem Sollspannungssignal als eine Differenz zwischen den zwei Signalen aus. Das Piezostapelspannungserfassungssignal ist ein Signal, das durch ein Potentiometer zum Teilen der Piezostapelspannung unter Verwendung von Widerständen ausgegeben wird. Demgegenüber ist das Sollspannungssignal ein Spannungssignal, das proportional zu einer Sollspannung ist, die ebenfalls als Sollgröße einer zu akkumulieren-



den elektrischen Ladung angesehen werden kann. Somit stellt das aus dem Differenzverstärker 381 ausgegebene Differenzsignal eine Größe elektrischer Ladung dar, die noch zugeführt werden muss, um die Sollgröße der elektrischen Ladung zu erreichen, oder gibt den Fortschrittszustand des Ladevorgangs an.

[0129] Die Steuerungsschaltung 218 wendet ebenfalls eine Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821 an, die das aus dem Differenzverstärker 381 ausgegebene Differenzsignal empfängt. Die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 1821 berechnet eine Strombegrenzung, die einen Ausschaltzeitpunkt der ersten Schaltvorrichtung 214 vorschreibt, wodurch ein Strombegrenzungssignal erzeugt wird. Zusätzlich wendet die Steuerungsschaltung 218 ebenfalls eine Schaltsteuerungseinheit 3822 an, die das Strombegrenzungssignal aus der Strombegrenzungseinstellungseinheit 3821 und ein den Ladestrom wiedergebendes Erfassungssignal empfängt. Die Schaltsteuerungseinheit 3822 gibt ein Steuerungssignal zu dem Gate der ersten Schaltvorrichtung 214 aus. Die Strombegrenzungseinstellungseinheit 3821 und die Schaltsteuerungseinheit 3822 bilden eine Stromverringerungseinrichtung 382. Die Strombegrenzungseinstellungseinheit 3821 und die Schaltsteuerungseinheit 3822 sind typischerweise jeweils Logikverarbeitungsschaltungen.

[0130] Fig. 18 zeigt eine Darstellung des Aufbaus eines Kraftstoffeinspritzgeräts einer Vierzylinderdieselmotormaschine der Common-Rail-Bauart, bei der vier Kraftstoffeinspritzeinrichtungen 204 angewandt werden, die jeweils mit den Piezostapeln 202A bis 202D versehen sind. Fig. 19 zeigt einen Aufbau jeder der Einspritzeinrichtungen 204. Während Fig. 19 eine der Einspritzeinrichtungen 204 zeigt, die den Piezostapel 202A aufweist, ist der Aufbau der anderen Einspritzeinrichtungen 204 jeweils identisch zu den anderen Piezostapeln 202B bis 202D mit der in Fig. 19 gezeigten Einspritzeinrichtung. Eine Einspritzeinrichtung 204 ist für jeden der Zylinder der Dieselmotormaschine vorgesehen, obwohl in der Figur lediglich eine Einspritzeinrichtung 204 gezeigt ist. Wie es in Fig. 17 gezeigt ist, wird jeder der Einspritzeinrichtungen 204 aus einem Common-Rail 254 mittels einer Versorgungsleitung 255, die das Common-Rail 254 mit der empfangenen Einspritzeinrichtung 204 verbindet, Kraftstoff zugeführt. Kraftstoff wird aus einer Einspritzeinrichtung 204 in die Kraftstoffkammer eines Zylinders, der der Einspritzeinrichtung 204 zugeordnet ist, mit einem Kraftstoffdruck eingespritzt, der in etwa gleich zu dem Druck des Kraftstoffs innerhalb des Common-Rail 254 ist. Der Druck des Kraftstoffs innerhalb des Common-Rail 254 wird nachstehend als Common-Rail-Druck bezeichnet. Eine Hochdruckzufuhrpumpe 253 führt Kraftstoff aus einem Tank 251 zu dem Common-Rail 254 mit einem hohen Druck zu.

[0131] Aus dem Common-Rail 254 zu den Einspritzeinrichtungen 204 zugeführter Kraftstoff wird nicht nur zum Einspritzen, sondern ebenfalls zur Erzeugung von Steuerungssöldrücken der Einspritzeinrichtungen 204 verwendet, die Kraftstoff aus den Einspritzeinrichtungen 204 zu dem Tank 251 über eine Niederdruckabfuhrleitung 256 zirkulieren lassen.

[0132] Ein an dem Common-Rail 254 eingebauter Drucksensor 257 erfasst den Common-Rail-Druck. Die ECU 203 steuert ein Strömungseinstellungsventil 252 zur Einstellung der Kraftstoffmenge, die dem Common-Rail 254 zugeführt wird, durch einen Druck auf der Grundlage eines Erfassungsergebnisses, das aus dem Drucksensor 257 ausgegeben wird. Der Common-Rail-Druck wird entsprechend anderen Sensoreingängen und dergleichen auf einen korrekten Einspritzdruck gesteuert, der für allgemein bekannte Betriebs-

bedingungen geeignet ist. Zusätzlich ermittelt die ECU 203 auf der Grundlage von Erfassungssignalen, die Größen, wie einen Kurbelwellenwinkel, angeben, einen Zeitverlauf zum Einspritzen von Kraftstoff und ein Einspritzvolumen, wobei ein Einspritzsignal der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 201 zugeführt wird. Das Einspritzsignal ist ein binäres Signal mit logischen Werten H (hoher Pegel) und L (niedriger Pegel) entsprechend einer Einspritzperiode. Bei der ansteigenden Flanke des Einspritzsignals von dem logischen Wert L zu dem logischen Wert H startet die Steuerungsschaltung 218 einen Vorgang zum elektrischen Laden der Piezostapel 202A bis 202D. Bei der abfallenden Flanke des Einspritzsignals von dem logischen Wert H auf den logischen Wert L startet demgegenüber die Steuerungsschaltung 218 einen Vorgang zum elektrischen Entladen der Piezostapel 202A bis 202D. Folglich wird Kraftstoff aus der Einspritzeinrichtung 204 während einer vorbestimmten Zeitdauer eingespritzt.

[0133] Wie es in Fig. 19 gezeigt ist, weist die Einspritzeinrichtung 204 eine Form auf, die einem Stab ähnelt. Die Einspritzeinrichtung 204 ist derart installiert, dass der in der Figur gezeigte, untere Abschnitt der Einspritzeinrichtung 204 durch die Wand einer Kraftstoffkammer der Brennkraftmaschine durchdringt, wobei er in die Kraftstoffkammer hineinragt. Die Wand der Kraftstoffkammer und die Kraftstoffkammer selbst sind nicht in der Figur gezeigt. Die Einspritzeinrichtung 204 weist an der Unterseite eine Düse 204a auf, eine Rückdrucksteuerungseinheit 204b in der Mitte und ein Piezobetätigungsglied 204c an der Oberseite.

[0134] Eine Nadel 621 ist innerhalb eines Hauptaufbaus 604 der Düse 204a derart gehalten, dass die Nadel 621 mit einem hohen Freiheitsgrad an dem Rückabschnitt des Hauptaufbaus 604 verschoben werden kann. Die Nadel 621 wird auf einen Ringsitz 6041 gesetzt oder verlässt diesen, der an dem vorderen Abschnitt des Hauptaufbaus 604 ausgebildet ist. Ein Hochdruckkraftstoff wird aus dem Common-Rail 254 in einem umlaufenden Freiraum 605 des vorderen Abschnitts der Nadel 621 durch einen Hochdruckpfad 601 eingeführt. Wenn die Nadel 621 von dem Ringsitz 6041 getrennt wird, wird Kraftstoff aus einem Nadelloch 603 eingespritzt. Der Druck des durch den Hochdruckpfad 601 eingeführten Kraftstoffs hebt die Nadel 621 von einer ringförmigen Stufenoberfläche 6211 in Aufwärtsrichtung ab.

[0135] Ein als Steuerungssöl verwendeter Kraftstoff wird in einen Freiraum hinter der Nadel 621 aus dem Hochdruckpfad 601 mittels einer Einmündung 607 eingeführt. Der Freiraum hinter der Nadel 621 ist eine Gegendruckkammer 606 zur Erzeugung eines Gegendrucks der Nadel 621. In Zusammenhang mit einer in der Gegendruckkammer 606 vorgesehenen Feder 622 schiebt der Gegendruck die Rückoberfläche 6212 der Nadel 621 in Abwärtsrichtung zu der Position mit gesetzter Nadel.

[0136] Der Gegendruck wird durch die Gegendrucksteuerungseinheit 204b ein- und ausgeschaltet, der durch das Piezobetätigungsglied 204c mit dem Piezostapel 202A angetrieben wird. Es sei bemerkt, dass die anderen Einspritzeinrichtungen 204 mit den Piezostapeln 202B bis 202D jeweils denselben Aufbau wie die Einspritzeinrichtung 204 mit dem Piezostapel 202A aufweisen.

[0137] Die Gegendruckkammer 606 ist stets mit einer Ventilkammer 610 der Gegendrucksteuerungseinheit 204b über eine Auslassmündung 409 verbunden. Die Ventilkammer 610 ist in einer Form erzeugt, bei der eine Decke 6101 der Ventilkammer 610 einen Konus bildet, der nach oben gerichtet ist. Die Ventilkammer 610 ist mit einer Niederdruckkammer 611 an dem obersten Abschnitt der Decke 6101 verbunden. Die Niederdruckkammer 611 ist mit einem Niederdruckpfad 602 verbunden, der mit der Abfluss-





[0147] Zu dem Zeitpunkt, wenn die erste Schaltvorrichtung 214 ausgeschaltet wird, wurde der Aufladestrom in der Induktivität 213 als eine Energie proportional zu dem Strombegrenzungswert akkumuliert. Die Energie erzeugt in der Induktivität 213 eine elektromotorische Kraft. Die elektromotorische Kraft arbeitet als eine an die zweite, parasitäre Diode 351 angelegte Vorspannung derart, dass in der Ausperiode nach der Einperiode der ersten Schaltvorrichtung 214 die Energie zu den Piezostapeln 202A bis 202D durch einen Aufladestrom übertragen wird, der über den zweiten Leitungsweg 212b fließt. Wenn ein Ergebnis der Erfassung angibt, dass dieser Aufladestrom sich auf Null verringert, schaltet die Schaltsteuerungseinheit 3822 die erste Schaltvorrichtung 214 erneut ein. Somit zeigt in einem Ein-Aus-Zyklus der ersten Schaltvorrichtung 214 der fließende Aufladestrom einen dreieckförmigen Signalverlauf.

[0148] Der Ein-Aus-Zyklus der ersten Schaltvorrichtung 214 wird wiederholt, um einen Vorgang des elektrischen Ladens der Piezostapel 202A bis 202D weiter auszuführen, wodurch die Piezostapelspannung angehoben wird. Dabei verringert sich die aus dem Differenzverstärker 381 ausgegebene Differenzspannung.

[0149] Demgegenüber wird der Wert der Strombegrenzung in der elektrischen Ladeperiode, wie nachstehend beschrieben, eingestellt. Die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821 stellt die Strombegrenzung auf einen derartigen Wert ein, dass, je kleiner die aus dem Differenzverstärker 381 ausgegebene Differenzspannung wird, desto kleiner der Wert wird. Genauer stellt die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821 die Strombegrenzung auf einen festen Wert ein, bis die Piezostapelspannung auf über 70% der Sollspannung ansteigt bzw. die Differenz zwischen der Piezostapelspannung und der Sollspannung auf einen Schwellwert absinkt, der etwa 30% der Sollspannung beträgt. Danach verringert die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821 den Wert der Strombegrenzung. Die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821 kann den Wert der Strombegrenzung entsprechend einer kontinuierlichen Funktion verringern, die die aus dem Differenzverstärker 381 ausgegebene Differenzspannung als Eingabewert nimmt. Als Alternative kann die Differenz zwischen der Sollspannung und der Piezostapelspannung in eine Vielzahl von Bereichen unterteilt werden, und ein Wert der Strombegrenzung wird jedem der Bereiche eindeutig zugeordnet. In diesem Fall kann, wenn sich die Differenz zwischen der Piezostapelspannung und der Sollspannung auf etwa 30% der Sollspannung verringert, die Piezostapel 202A bis 202D von einem relativ großen, ersten Ladestrom zu einem relativ geringen, zweiten Ladestrom zur Verringerung einer Steuerungslast umgeschaltet werden.

[0150] In dem vorstehend beschriebenen Steuerungsschema wird, während die Piezostapel 202A bis 202D elektrisch geladen werden, der Spitzenwert des Aufladestroms (oder der Spitzenstrom) auf einem konstanten Wert beibehalten, bis die Piezostapelspannung einen Pegel erreicht, der nahe an der Sollspannung liegt. Dann wird, wenn die Differenz zwischen der Piezostapelspannung und der Sollspannung klein wird, der Wert der Strombegrenzung allmählich auf einen derartigen Wert verringert, dass, je näher sich die Piezostapelspannung der Sollspannung nähert, desto niedriger der Pegel wird. Schließlich wird, wenn die Piezostapelspannung die Sollspannung erreicht, die erste Schaltvorrichtung 214 in einem ausgeschalteten Zustand festgehalten.

[0151] Falls sich zu dem Zeitpunkt, zu dem die Piezostapelspannung die Sollspannung erreicht hat, der Ladestrom nicht auf Null verringert hat, wird eine Energie in der Induktivität 213 aufgrund des zu diesem Zeitpunkt fließenden, restlichen Aufladestroms akkumuliert. Somit fließt nach

Ausschalten der ersten Schaltvorrichtung 214 ein Ladestrom immer noch durch den zweiten Leitungsweg 212b als ein Freilaufstrom. Dieser Freilaufstrom, der nach Ausschalten der ersten Schaltvorrichtung 214 fließt, verursacht, dass die Piezostapelspannung die Sollspannung überschreitet, was zu einem Spannungsfehler führt. Dieser Freilaufstrom, der nach Ausschalten der ersten Schaltvorrichtung 214 fließt, hängt von dem Zeitverlauf zum Ausschalten der ersten Schaltvorrichtung 214 ab. Dieser Freilaufstrom verringert sich allmählich von einem maximalen Wert, der gleich einem Strombegrenzungswert der letzten Ausperiode der Schaltvorrichtung 214 ist. Der Strombegrenzungswert der letzten Ausperiode der ersten Schaltvorrichtung 214 ist im Vergleich zu den Strombegrenzungswerten der vorhergehenden Ausperioden der ersten Schaltvorrichtung 214 gering, die während des größten Teils des Betriebs zum elektrischen Laden der Piezostapel 202A bis 202D eingestellt sind. Folglich kann der Fehler der Piezostapelspannung verringert werden.

[0152] Zusätzlich kann durch Einstellung der Strombegrenzungen der vorhergehenden Ausperioden der ersten Schaltvorrichtung 214 während des größten Teils des Vorgangs zum elektrischen Laden der Piezostapel 202A bis 202D auf große Werte, die durch Stromkapazitäten von Komponenten, die in der Piezobetätigungsgliedantriebschaltung 201 angewandt werden, in derselben Weise wie bei dem herkömmlichen Kraftstoffeinspritzgerät zugelassen sind, der Vorgang zum elektrischen Laden der Piezostapel 202A bis 202D mit etwa derselben Geschwindigkeit wie bei dem herkömmlichen Gerät aufgeführt werden. Somit kann die Kugel 623 der Einspritzeinrichtung 204 mit einem Zeitverlauf abgehoben werden, der nicht stark hinter dem Einspritzsignal verzögert ist. Folglich kann die Piezostapelspannung auf den Sollpegel mit einem hohen Genauigkeitsgrad angehoben werden, und kann sich bei der durch die Einspritzeinrichtung 204 ausgeführten Kraftstoffeinspritzung eine Eigenschaft mit hohem Ansprechen zeigen.

[0153] Es sei bemerkt, dass die Piezostapelspannung, die als Kriterium für den Übergang von einem festen Wert der Strombegrenzung zu einem absteigenden Wert verwendet wird, nicht ein Pegel sein muss, der etwa gleich 70% der Sollspannung ist. Beispielsweise kann das Kriterium niedriger oder höher als 70% sein. Zusätzlich muss die Strombegrenzung nicht auf einen konstanten Wert während des größten Teils des Vorgangs zum elektrischen Laden der Piezostapel 202A bis 202D fest eingestellt sein. Das heißt, dass der Wert der Strombegrenzung von dem Beginn des Vorgangs an verringert werden kann.

[0154] Die Steuerung des elektrischen Entladens der Piezostapel 202A bis 202D ist nachstehend beschrieben. Die Steuerung der elektrischen Entladung wird in derselben Weise wie bei dem herkömmlichen Kraftstoffeinspritzgerät durchgeführt. Das heißt, dass die Piezostapel 202A bis 202D durch Einschalten und Ausschalten der zweiten Schaltvorrichtung 215 elektrisch entladen werden. Genauer fließt während einer Einperiode ein allmählich ansteigender Entladestrom durch den zweiten Leitungsweg 212b. Während einer Ausperiode fließt demgegenüber ein sich allmählich verringernder Entladestrom durch den ersten Leitungsweg 212a. Somit kann auch der Entladestrom als ein Strom angesehen werden, der einen Dreieckssignalverlauf zeigt. Wenn der Entladestrom eine Strombegrenzung erreicht, wird die zweite Schaltvorrichtung 215 ausgeschaltet. Wenn demgegenüber der Entladestrom Null wird, wird die zweite Schaltvorrichtung 215 eingeschaltet. Der in dem Aufladevorgang verwendete Strombegrenzungswert kann typischerweise als der Wert der Strombegrenzung für den Entladevorgang verwendet werden.

[0155] Es sei bemerkt, dass die Steuerungsschaltung 218 auch durch einen Mikrocomputer implementiert sein kann.

[0156] Zusätzlich muss der Wert der Strombegrenzung nicht stets entsprechend einer Differenz zwischen der Sollspannung und der Piezostapelspannung geändert werden. Beispielsweise ist es ebenfalls möglich, einen Strombegrenzungswert, der einen Spitzenwert für eine Ein-Aus-Periode vorschreibt, auf der Grundlage einer vorhergehenden Differenz zwischen der Sollspannung und der Piezostapelspannung einzustellen, wobei die vorhergehende Differenz zu dem Zeitpunkt beobachtet wird, wenn der Aufladestrom einen Spitzenwert in der unmittelbar vorhergehenden Ein-Aus-Periode erreicht. Weiterhin ist es ebenfalls möglich, einen Strombegrenzungswert, der einen Spitzenwert für eine Ein-Aus-Periode vorschreibt, auf der Grundlage einer vorhergehenden Differenz zwischen der Sollspannung und der Piezostapelspannung einzustellen, wobei die vorhergehende Differenz zu dem Zeitpunkt beobachtet wird, wenn die erste Schaltvorrichtung 214 von einem eingeschalteten Zustand zu einem ausgeschalteten Zustand in der unmittelbar vorhergehenden Ein-Aus-Periode umgeschaltet wird.

#### Siebtes Ausführungsbeispiel

[0157] Fig. 21 und 22 zeigen jeweils Aufbauten einer Piezobetätigungs-glied-antriebsschaltung 201A, die in dem Kraftstoffeinspritzgerät angewandt wird, und einer Steuerungsschaltung 218A, die in der Piezobetätigungs-glied-antriebsschaltung 201A wie gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel angewandt wird. Die in der Piezobetätigungs-glied-antriebsschaltung 201A angewandte Steuerungsschaltung 218A unterscheidet sich von der Steuerungsschaltung 218, die in der Piezobetätigungs-glied-antriebsschaltung 201 gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel angewandt wird. Komponenten der in den Figuren gezeigten Piezobetätigungs-glied-antriebsschaltung 201A, die durch dieselben Bezugszeichen wie die Komponenten bezeichnet sind, die gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel angewandt werden, weisen im wesentlichen identische Funktionen wie die Komponenten des sechsten Ausführungsbeispiels auf. Somit werden lediglich die Unterschiede zwischen dem siebten und dem sechsten Ausführungsbeispiel in der nachstehenden Beschreibung fokussiert. Der Grundaufbau der in der Piezobetätigungs-glied-antriebsschaltung 201A angewandten Steuerungsschaltung 218A ist derselbe wie gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel. Wie es in Fig. 22 gezeigt ist, weist die Steuerungsschaltung 218A den Differenzverstärker 381, eine Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821A zum Empfang einer Differenzspannung aus dem Differenzverstärker 381 und eine Schaltsteuerungseinheit 3822A zum Empfang eines aus der Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821A ausgegebenen Signals auf. Die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821A und die Schaltsteuerungseinheit 3822A bilden eine Stromverringereinrichtung 382A.

[0158] Fig. 23 zeigt eine Darstellung, wie der durch die Piezostapel 202A bis 202D fließende Aufladestrom und die Piezostapelspannung der Piezostapel 202A bis 202D sich ändern. Durch die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821A und die Schaltsteuerungseinheit 3822A eingestellte Größen sind unter Bezugnahme auf diese Figur beschrieben. Die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821A stellt die Strombegrenzung auf einen festen Wert ein, bis sich die Differenz zwischen der Piezostapelspannung und der Sollspannung auf einen Schwellwert verringert, der typischerweise etwa 30% der Sollspannung beträgt. Jedes Mal, wenn der Aufladestrom des festen Wert der Strombegrenzung erreicht, schaltet die Schaltsteuerungseinheit 3822A die erste

Schaltvorrichtung 214 aus. Die Schaltsteuerungseinheit 3822A schaltet die erste Schaltvorrichtung 214 erneut ein, wenn der Ladestrom Null wird, und dieser Ein-Aus-Zyklus wird wiederholt, wobei der Spitzenstrom auf einen konstanten Wert gehalten wird, um den Vorgang des elektrischen Ladens der Piezostapel 202A bis 202D in derselben Weise wie gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel fortzusetzen.

[0159] Wenn die Differenz zwischen der Sollspannung und der Piezostapelspannung kleiner als der vorbestimmte Wert wird, wird eine Steuerung zur Verringerung des Spitzenstroms ausgeführt. In dem Fall gemäß dem siebten Ausführungsbeispiel gibt jedoch die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821A danach einen Zeitbegrenzungswert anstelle eines Wertes der Strombegrenzung aus, während die Schaltsteuerungseinheit 3822A die erste Schaltvorrichtung 214 ein- und ausschaltet, wie es nachstehend beschrieben ist. Die Einperiode der ersten Schaltvorrichtung 214 wird mit dem Wert der Zeitbegrenzung verglichen. Jedes Mal, wenn die Einperiode der ersten Schaltvorrichtung 214 gleich dem Zeitbegrenzungswert wird, schaltet die Schaltsteuerungseinheit 3822A die erste Schaltvorrichtung 214 aus. Die Schaltsteuerungseinheit 3822A schaltet die erste Schaltvorrichtung 214 erneut ein, um eine nächste Einperiode zu starten, wenn der Aufladestrom Null wird.

[0160] Die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821A stellt die Zeitbegrenzung auf einen derartigen Wert ein, dass, je kleiner die Differenz zwischen der Sollspannung und der Piezostapelspannung wird, desto größer der Wert wird. Die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821A kann den Wert der Zeitbegrenzung entsprechend einer kontinuierlichen Funktion verringern, die die aus dem Differenzverstärker 381 ausgegebene Differenzspannung als Eingang nimmt. Als Alternative kann die Differenz zwischen der Sollspannung und der Piezostapelspannung in eine Vielzahl von Bereichen unterteilt werden, und ein Wert der Zeitbegrenzung wird jedem der Bereiche eindeutig zugewiesen.

[0161] Bei der Ausführung dieser Aufladestromsteuerung auf der Grundlage des Zeitbegrenzungswertes verringert sich die Einperiode der ersten Schaltvorrichtung 214, und eine an die Induktivität 213 während der Einperiode angelegte Spannung verringert sich ebenfalls aufgrund der Tatsache, dass die Piezostapelspannung sich von Zyklus zu Zyklus erhöht. Zusätzlich verringert sich ebenfalls der Gradient des Aufladestroms. Somit wird, je näher die Piezostapelspannung sich der Sollspannung annähert, der Spitzenwert des Aufladestroms desto kleiner. Wenn schließlich die Piezostapelspannung die Sollspannung erreicht, wird die erste Schaltvorrichtung 214 in einem ausgeschalteten Zustand festgehalten.

[0162] Wie es vorstehend beschrieben ist, verringert sich der Spitzenstrom allmählich, wenn der größte Teil des Vorgangs zum elektrischen Laden der Piezostapel 202A bis 202D abgeschlossen ist, selbst falls ein Freilaufstrom fließt. Nachdem die Piezostapelspannung die Sollspannung erreicht hat, ist es möglich, den durch den Freilaufstrom verursachten Fehler der Piezostapelspannung zu unterdrücken. Folglich zeigt das Piezobetätigungs-glied 204c ein ausreichendes Ansprechverhalten.

#### Achtes Ausführungsbeispiel

[0163] Fig. 24 zeigt den Aufbau einer in dem Kraftstoffeinspritzgerät angewendeten Piezobetätigungs-glied-antriebsschaltung 201B, und Fig. 25 zeigt eine in der Piezobetätigungs-glied-antriebsschaltung 201B angewandte Steuerungsschaltung 1% gemäß einem achten Ausführungsbeispiel. Die in der Piezobetätigungs-glied-antriebsschaltung

201B angewandte Steuerungsschaltung 218B unterscheidet sich von der in der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 201A angewandten Steuerungsschaltung 218A gemäß dem siebten Ausführungsbeispiel. Komponenten der in den Figuren gezeigten Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 201B, die mit denselben Bezugszeichen wie die Komponenten gemäß dem siebten Ausführungsbeispiel bezeichnet sind, weisen identische Funktionen wie die Komponenten gemäß dem siebten Ausführungsbeispiel auf. Somit werden lediglich die Unterschiede zwischen dem achten und dem siebten Ausführungsbeispiel in der nachstehenden Beschreibung fokussiert.

[0164] Wie es in Fig. 25 gezeigt ist, weist die Steuerungsschaltung 218B der Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 201B den Differenzverstärker 281, eine Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821B zum Empfang einer Differenzspannung aus dem Differenzverstärker 381 und eine Schaltsteuerungseinheit 3822B zum Empfang eines aus der Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821B ausgegebenen Signals auf. Die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821B und die Schaltsteuerungseinheit 3822B bilden eine Stromverringereinrichtung 382B.

[0165] Fig. 26 zeigt eine Darstellung, wie sich der durch die Piezostapel 202A bis 202D fließende Aufladestrom und die Piezostapelspannung der Piezostapel 202A bis 2020D ändern. Durch die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821B und die Schaltsteuerungseinheit 3822B eingestellten Größen in der elektrischen Aufladungssteuerung sind unter Bezugnahme auf diese Figur beschrieben. Die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821B empfängt eine Differenzspannung aus dem Differenzverstärker 381 und berechnet lediglich Werte einer Zeitbegrenzung und gibt diese aus. Die Leitungsbegrenzungseinstellungseinheit 3821B stellt die Zeitbegrenzung auf einen derartigen Wert ein, dass, je kleiner die Differenz zwischen der Sollspannung und der Piezostapelspannung wird, der Wert desto kleiner wird. Die Schaltsteuerungseinheit 3822B schaltet die erste Schaltvorrichtung 214 jedes Mal aus, wenn die Einperiode der ersten Schaltvorrichtung 214 gleich dem eingestellten Zeitbegrenzungswert wird, und schaltet die erste Schaltvorrichtung 214 erneut ein, um eine nächste Einperiode zu starten, wenn der Aufladestrom Null wird. Ebenfalls bei diesem Aufbau ist, je näher die Piezostapelspannung sich der Sollspannung annähert, der ein Maximum des Aufladestroms wiedergebende Spitzenwert umso kleiner. Folglich kann der Fehler der Piezostapelspannung unterdrückt werden.

[0166] In den vorstehend beschriebenen sechsten bis achten Ausführungsbeispielen wird der Fortschrittszustand eines elektrischen Aufladevorgangs durch eine Differenz zwischen der Piezostapelspannung und der Sollspannung ausgedrückt. Es sei jedoch bemerkt, dass der Fortschrittszustand ebenfalls durch eine Differenz zwischen der in den Piezostapeln akkumulierten, elektrischen Energie und einer Sollgröße der elektrischen Energie ausgedrückt werden kann.

[0167] Zusätzlich kann die Erfindung nicht nur auf ein Piezobetätigungsglied für eine Kraftstoffeinspritzsteuerung, die durch eine Einspritzeinrichtung ausgeführt wird, angewandt werden, sondern ebenfalls auf einen Vorgang zum Antrieb eines Piezobetätigungsgliedes, das in anderen Anwendungen angewendet wird.

#### Neuntes Ausführungsbeispiel

[0168] Fig. 29 zeigt den Aufbau einer Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 501 gemäß einem neunten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Die Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 501 wird bei einem Kraftstoffeinspritzsys-

stem der Common-Rail-Bauart angewandt, das in einer Vierzylinderdieselmotorkraftmaschine verwendet wird. Wie es in Fig. 29 gezeigt ist, wendet die Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung 501 eine Gleichspannungsversorgung 5011 an, die eine eingebaute Batterie 711, einen Gleichspannungswandler 712 und einen Pufferkondensator 713 aufweist.

[0169] Der Gleichspannungswandler 712 erzeugt eine Gleichspannung mit einem Pegel in einem Bereich, der von einigen zehn bis einigen hundert Volt reicht, aus der Batterie 711. Der Pufferkondensator 713 ist mit Ausgangsanschlüssen des Gleichspannungswandlers 712 parallel zu dem Gleichspannungswandler 712 verbunden. Die Gleichspannungsversorgung 511 gibt eine Spannung zum elektrischen Laden von Piezostapeln 502A, 502B, 502C und 502D aus. Die eingebaute Batterie 711 ist mit einer Reihenschaltung verbunden, die eine Induktivität (Spule) 7121 und eine Schaltvorrichtung 7122 aufweist, die in dem Gleichspannungswandler 712 untergebracht sind. Wenn die Schaltvorrichtung 7122 eingeschaltet wird, wird Energie in die Induktivität 7121 akkumuliert. Wenn die Schaltvorrichtung 7122 ausgeschaltet wird, erzeugt demgegenüber die Induktivität 7121 eine elektromotorische Kraft aufgrund der akkumulierten Energie und führt die Energie dem Pufferkondensator 713 über eine Diode 3123 zu, wobei der Kondensator 713 elektrisch geladen wird. Der Pufferkondensator 713 weist eine relativ große elektrostatische Kapazität auf, die in der Lage ist, seine Spannung selbst während eines Vorgangs zum Laden der Piezostapel 502A bis 502D angenähert auf einem konstanten Pegel zu halten.

[0170] Eine Induktivität 513 dient als ein Teil eines ersten Leitungsweges 512a, um einen Strom aus dem Pufferkondensator 713, der in der Gleichspannungsversorgung 511 untergebracht ist, zu den Piezostapeln 502A bis 502D zum Fließen zu bringen. Der erste Leitungsweg 512a ist eine Reihenschaltung, die die Induktivität 513 und eine erste Schaltvorrichtung 514 aufweist, die zwischen der Induktivität 513 und dem Pufferkondensator 713 vorgesehen ist. Die erste Schaltvorrichtung 514 ist ein MOSFET, der in einer derartigen Orientierung verschaltet ist, dass die zwischen den Anschlüssen des Pufferkondensators 713 auftretende Spannung als Rückwärtsvorspannung dient, die an eine parasitäre Diode 741 der ersten Schaltvorrichtung 514 angelegt wird.

[0171] Zusätzlich ist ebenfalls ein zweiter Leitungsweg 512b vorgesehen, der die Piezostapel 502A bis 502D, die Induktivität 513 und eine zweite Schaltvorrichtung 515 aufweist, die mit einem Verbindungspunkt zwischen der ersten Schaltvorrichtung 514 und der Induktivität 513 verbunden ist. Die Induktivität 513, die Piezostapel 502A bis 502D und die zweite Schaltvorrichtung 515 bilden einen geschlossenen Stromkreis. Die zweite Schaltvorrichtung 515 ist ebenfalls ein MOSFET, der in einer derartigen Orientierung verschaltet ist, dass die zwischen den Anschlüssen des Pufferkondensators 713 auftretende Spannung als Rückwärtsvorspannung dient, die an einer zweiten parasitären Diode 751 der zweiten Schaltvorrichtung 515 angelegt wird.

[0172] Sowohl der erste Leitungsweg 512a als auch der zweite Leitungsweg 512b teilen gemeinsam die Piezostapel 502A bis 502D, die als Antriebsobjekte, wie nachstehend beschrieben, ausgewählt werden können. Die Piezostapel 502A bis 502D sind zu dritten Schaltvorrichtungen 516A bis 516D jeweils eindeutig (auf Eins-zu-Eins-Basis) in Reihe geschaltet. Die dritten Schaltvorrichtungen 516A bis 516D werden eingeschaltet, um Aufladeströme jeweils zu den Piezostapeln 502A bis 502D zum Fließen zu bringen, die jeweils für eine Einspritzeinrichtung eines Zylinders vorgesehen sind, wie es nachstehend beschrieben ist. Die dritten Schaltvorrichtungen 516A bis 516D sind ebenfalls

MOSFETS, die in einer derartigen Orientierung verschaltet sind, dass die zwischen den Anschlüssen des Pufferkondensators 713 auftretende Spannung als Rückwärtsvorspannung dient, die jeweils an parasitäre Auswahldioden 761A, 761B, 761C und 761D der dritten Schaltvorrichtungen 516A bis 516D angelegt wird.

[0173] Wie nachstehend beschrieben ist, sind die Piezostapel 502A bis 502D jeweils an eine Einspritzeinrichtung 504 gemäß Fig. 18 und 19 angebracht. Die Einspritzeinrichtung 504 ist für jeden Zylinder vorgesehen. Die Piezostapel 502A bis 502D dienen als Schalter zum Einspritzen von Kraftstoff oder zum Stoppen von Kraftstoffeinspritzung für ihre jeweiligen Einspritzeinrichtungen 504.

[0174] Zusätzlich ist ebenfalls ein dritter Leitungsweg 512c vorgesehen, der ein Ausgangsende 513a der Induktivität 513 mit einem positiven Anschluss 713a des Pufferkondensators 713 verbindet. Der dritte Leitungsweg 512c weist eine Diode 512 auf, deren Kathode mit dem Anschluss 713a verbunden ist. Die zwischen den Anschlüssen des Pufferkondensators 713 auftretende Spannung dient als Rückwärtsvorspannung, die an die Diode 517 angelegt wird.

[0175] Die Gates der ersten Schaltvorrichtung 514, der zweiten Schaltvorrichtung 515 und der dritten (Auswahl-) Schaltvorrichtungen 516A bis 516D sind jeweils mit einer Steuerungsschaltung 518 verbunden, die den Gates Impulssteuerungssignale zuführt. Wie es vorstehend beschrieben worden ist, werden, wenn irgendwelche der dritten Schaltvorrichtungen 516A bis 516D durch deren Gates zugeführte Impulssteuerungssignale eingeschaltet werden, die entsprechenden Piezostapel 502A bis 502D ausgewählt, die als angetriebene Objekte dienen. Die den Gates der ersten Schaltvorrichtung 514 und der zweiten Schaltvorrichtung 515 zugeführten Impulssteuerungssignale schalten ebenfalls die erste Schaltvorrichtung 514 und die zweite Schaltvorrichtung 515 zur Steuerung von Vorgängen des elektrischen Aufladens und Entladens der Piezostapel 502A bis 502D ein und aus. Die Steuerungsschaltung 518 empfängt Erfassungssignale, die eine Piezostapelspannung und einen Piezostapelstrom darstellen (nicht dargestellt). Die Steuerung der elektrischen Auflade- und elektrischen Entladevorgänge beruht auf den Erfassungssignalen. Zusätzlich empfängt die Steuerungsschaltung 518 ebenfalls ein Einspritzsignal, das als Grundlage zur Steuerung der elektrischen Auflade- und elektrischen Entladezeitverläufe verwendet wird. Das Einspritzsignal ist eine binärwertiges Signal mit logischen Werten H (hoher Pegel) und L (niedriger Pegel) entsprechend einer Einspritzperiode. Bei einer ansteigenden Flanke des Einspritzsignals von dem logischen Wert L auf den logischen Wert H startet die Steuerungsschaltung 518 einen Betrieb zum elektrischen Laden der Piezostapel 502A bis 502D. Bei der abfallenden Flanke des Einspritzsignals von dem logischen Wert H auf den logischen Wert L startet demgegenüber die Steuerungsschaltung 518 einen Vorgang zum elektrischen Entladen der Piezostapel 502A bis 502D. Ein Zeitverlauf zur Ausgabe des Einspritzsignals und die Dauer des Einspritzsignals werden auf der Grundlage eines Erfassungssignals eingestellt, das einen Kurbelwellenwinkel oder dergleichen wiedergibt.

[0176] Fig. 30 zeigt eine Darstellung von Vorgängen verschiedener Komponenten, die in der Piezobetätigungsglied-antriebsschaltung während einer Steuerung des elektrischen Aufladens angewandt sind. Ähnlich wie bei dem herkömmlichen Kraftstoffeinspritzgerät werden die dritten (Auswahl-) Schaltvorrichtungen 516A bis 516D eingeschaltet, um die Piezostapel 502A bis 502D jeweils elektrisch zu laden. In der nachfolgenden Beschreibung ist lediglich der Vorgang der dritten Schaltvorrichtung 516A beschrieben, der für den Piezostapel 502A vorgesehen ist. Zunächst wird die dritte

Schaltvorrichtung 516A eingeschaltet, um die Einschalt- bzw. Ausschaltvorgänge der ersten Schaltvorrichtung 514 zu starten. Wenn die erste Schaltvorrichtung 514 eingeschaltet wird und dann ausgeschaltet wird, fließt ein Strom I mit einem dreieckförmigen Signalverlauf durch die Induktivität 513. Wie es im weiteren Verlauf der Beschreibung noch beschrieben wird, dient der dreieckförmige Stromverlauf I, der durch die Induktivität 513 fließt, als Aufladestrom Ip, der zu dem Piezostapel 502A fließt, bis die Piezostapelspannung Vp den Sollwert erreicht, wie es der Fall bei dem herkömmlichen Kraftstoffeinspritzgerät ist. Der Sollpegel ist niedriger als eine Spannung, die zwischen den zwei Anschlüssen des Pufferkondensators 713 auftritt. Während einer Ausperiode der ersten Schaltvorrichtung 514 fließt ein Strom durch den zweiten Leitungsweg 512b, bei dem es sich um einen geschlossenen Stromkreis handelt, aufgrund einer in der Induktivität 513 erzeugten, elektromotorischen Kraft. Da die elektromotorische Kraft etwa gleich der Piezostapelspannung Vp ist, fließt kein Kreisstrom Id durch den dritten Leitungsweg 512c. Das heißt, dass ein Kreisstrom Id einer Diode 517 Null ist.

[0177] Wenn die Piezostapelspannung Vp den Sollwert erreicht, während der Vorgang zum elektrischen Laden des Piezostapels 502A weiterhin anhält, wird die erste Schaltvorrichtung 514 in einem ausgeschalteten Zustand gehalten, und gleichzeitig wird die dritte Schaltvorrichtung 516A ausgeschaltet.

[0178] Zu diesem Zeitpunkt ist eine Energie mit einer Größe entsprechend dem Strom I in der Induktivität 513 akkumuliert worden, bevor die Piezostapelspannung Vp den Sollwert erreicht. Natürlich wird die Energie den Fluss eines Stroms als ein Freilaufstrom während einer Ausschaltperiode der ersten Schaltvorrichtung 514 beibehalten, nachdem die Piezostapelspannung Vp den Sollwert erreicht. Da jedoch die dritte Schaltvorrichtung 516A ebenfalls mit demselben Zeitverlauf zur Festeinstellung der ersten Schaltvorrichtung 514 in einem ausgeschalteten Zustand ausgeschaltet wird, wird im Gegensatz zu dem herkömmlichen Einspritzgerät der Piezostapel 502A von dem zweiten Leitungsweg 512c derart getrennt, dass kein Freilaufstrom zu dem Piezostapel 502A fließt. Somit verbleibt die Piezostapelspannung Vp auf dem Sollwert, nachdem die Piezostapelspannung Vp den Sollwert erreicht hat. Folglich kann verhindert werden, dass der Piezostapel 502A eine übermäßige Druckkraft abgibt.

[0179] Zu diesem Zeitpunkt wird die Diode 517 in dem dritten Leitungsweg 512c in eine Vorwärtsrichtung von dem Ausgabeende 513a der Induktivität 513 zu dem positiven Anschluss 517a des Pufferkondensators 713 vorgespannt. Somit fließt in der letzten Ausperiode der ersten Schaltvorrichtung 514 ein Freilaufstrom durch die Induktivität 513 zu dem Pufferkondensator 713 über den dritten Leitungsweg 512c als ein Diodenkreisstrom Id. Das heißt, dass eine elektrische Ladung, die ein Fehler in der Größe der akkumulierten, elektrischen Ladung in dem herkömmlichen Kraftstoffeinspritzgerät wird, durch den Pufferkondensator 713 gesammelt wird, um in dem nächsten Zyklus den Piezostapeln 502A bis 502D erneut zugeführt zu werden. Folglich wird der Wirkungsgrad der Energienutzung erhöht.

[0180] Auf diese Weise kann mittels der Diode 517 in dem dritten Leitungsweg 512c die Präzision der elektrischen Ladung des Piezostapels 502A und der Wirkungsgrad der Energieverwendung erhöht werden, indem der Piezostapel 502A von dem zweiten Leitungsweg 512b mit demselben Zeitverlauf getrennt wird, wie der Zeitverlauf zum Festeinstellen der ersten Schaltvorrichtung 514 in einem ausgeschalteten Zustand. Das vorstehend beschriebene Merkmal gilt ebenfalls für die anderen Piezostapel 502B bis 502D.

[0181] Da der Piezostapel 502A von dem zweiten Leitungsweg 512b durch Ausschalten der dritten (Auswahl-)Schaltvorrichtung 516A abgetrennt werden kann, ist keine neue Schaltvorrichtung zum Abtrennen des Piezostapels 502A erforderlich, wodurch der Aufbau der Schaltung 501 einfach gemacht wird:

[0182] Die Steuerung der elektrischen Entladung der Piezostapel 502A bis 502D ist nachstehend beschrieben. Die Steuerung der elektrischen Entladung wird in derselben Weise wie bei dem herkömmlichen Kraftstoffeinspritzgerät durchgeführt. Das heißt, dass die Piezostapel 502A bis 502D durch Ein- und Ausschalten der zweiten Schaltvorrichtung 515 elektrisch entladen werden. Genauer fließt während einer Einperiode ein allmählich ansteigender Entladestrom durch den zweiten Leitungsweg 512b. Während einer Ausperiode fließt demgegenüber ein sich allmählich verringernder Entladestrom durch den ersten Leitungsweg 512a. Somit kann auch der Entladestrom als ein Strom angesehen werden, der einen dreieckförmigen Signalverlauf zeigt. Wenn der Entladestrom eine Strombegrenzung erreicht, wird die zweite Schaltvorrichtung 515 ausgeschaltet. Wenn der Entladestrom Null wird, wird demgegenüber die zweite Schaltvorrichtung 515 eingeschaltet. Der Strombegrenzungswert, der in dem elektrischen Ladevorgang verwendet wird, kann typischerweise als der Wert der Strombegrenzung für einen elektrischen Entladevorgang verwendet werden.

[0183] Dieses Ausführungsbeispiel ist dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Leitungsweg 512b durch Einschalten bzw. Ausschalten einer Auswahlaltvorrichtung 516 blockiert oder entblockiert werden kann. Es sei bemerkt, dass diese Eigenschaft auf jeden beliebigen, anderen Aufbau angewandt werden kann, bei dem eine Vielzahl von Piezostapeln für dieselbe Vielzahl von Zylindern in einer Brennkraftmaschine wie einer 6-Zylinderbrennkraftmaschine angewandt werden kann, und irgendeiner der Piezostapel kann als Stapel ausgewählt werden, der elektrisch zu laden ist.

#### Zehntes Ausführungsbeispiel

[0184] Fig. 31 zeigt den Aufbau einer Piezobetätigungs-gliedantriebsschaltung 501A gemäß einem zehnten Ausführungsbeispiel der Erfindung. In dem Fall gemäß dem zehnten Ausführungsbeispiel wird ein einzelnes Piezobetätigungsglied in derselben Weise wie gemäß dem neunten Ausführungsbeispiel angetrieben. Somit ist lediglich ein Piezostapel 502 des Piezobetätigungsglieds angeschlossen. Komponenten der Piezobetätigungs-gliedantriebsschaltung 501A gemäß Fig. 31, die durch dieselben Bezugszeichen wie die Komponenten gemäß dem neunten Ausführungsbeispiel bezeichnet sind, weisen im wesentlichen identische Funktionen wie die Komponenten gemäß dem neunten Ausführungsbeispiel auf. Somit sind lediglich die Unterschiede zwischen dem zehnten und dem neunten Ausführungsbeispiel in der nachstehenden Beschreibung fokussiert.

[0185] Eine in der Piezobetätigungs-gliedantriebsschaltung 501A angewandte, besondere Schaltvorrichtung 519 wird insbesondere zum Trennen des Piezostapels 502 von dem Piezobetätigungsglied, das als angesteuertes Objekt dient, von dem zweiten Leitungsweg 512b verwendet. Die Schaltvorrichtung 519 ist mit dem Piezostapel 502 in Reihe verschaltet. Eine zwischen den Anschlüssen des Pufferkondensators 713 auftretende Spannung wird als eine Rückwärtsspannung an eine parasitäre Diode 791 der besonderen Schaltvorrichtung 519 angelegt. Die parasitäre Diode 791 ermöglicht, dass ein Entladestrom des Piezostapels 502 fließen kann.

[0186] Eine Steuerungsschaltung 518A ist im wesentli-

chen dieselbe wie die Steuerungsschaltung 518 gemäß dem neunten Ausführungsbeispiel. Die Steuerungsschaltung 518A gibt Steuerungssignale zum elektrischen Laden des Piezostapels 502 und nach Verstreichen einer vorbestimmten Zeitperiode zum elektrischen Entladen des Piezostapels 502 aus. Bei der elektrischen Aufladungssteuerung wird die dritte Schaltvorrichtung 519 zunächst vor einem Start von Ein-Aus-Perioden der ersten Schaltvorrichtung 514 eingeschaltet. Wenn die Piezostapelspannung  $V_p$  einen Sollwert erreicht, wird die erste Schaltvorrichtung 514 in einem ausgeschalteten Zustand festgehalten, und gleichzeitig wird die dritte Schaltvorrichtung 519 ausgeschaltet. Auf diese Weise kann in ähnlicher Weise wie gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel die Piezostapelspannung  $V_p$  auf den Sollwert mit einem hohen Genauigkeitsgrad eingestellt werden, und eine in der Induktivität 513 akkumulierte Energie, wenn die Piezostapelspannung  $V_p$  den Sollwert erreicht, wird zu dem Pufferkondensator 713 zurückgeführt.

[0187] Das neunte und das zehnte Ausführungsbeispiel werden als Beispiele zur Beschreibung einer Mehrschalttechnik verwendet, wobei die erste Schaltvorrichtung 514 zum mehrfachen Ein- und Ausschalten gesteuert wird, um irgendwelche der Piezostapel 502A bis 502D elektrisch zu laden. Es sei jedoch bemerkt, dass die Erfindung ebenfalls auf eine Piezobetätigungs-gliedantriebsschaltung angewandt werden kann, die die sogenannte LC-Resonanztechnik anwendet, wodurch eine Steuerung zum elektrischen Laden irgendeines der Piezostapel 502A bis 502D ausgeführt wird, indem eine LC-Resonanzschaltung mit der Induktivität 513 und dem bestimmten Piezostapel 502A bis 502D verwendet wird.

[0188] Wie es vorstehend beschrieben ist, weist eine Antriebsschaltung (1) weist einen Piezostapel (2), eine Schaltvorrichtung (4, 5, 6), eine Gleichspannungsversorgung (11), eine Induktivität (13), eine Diode (141, 151, 161) und eine Steuerungsschaltung (28) auf. Die Schaltvorrichtung (4, 5, 6) schaltet wiederholt einen Vorgang zum elektrischen Aufladen des Piezostapels (2) ein und aus. Während einer Einperiode der Schaltvorrichtung (4, 5, 6) fließt ein Aufladestrom aus der Gleichspannungsversorgung (11) zu dem Piezostapel (2) über die Induktivität (13). Während einer Ausperiode der Schaltvorrichtung (4, 5, 6) ermöglicht demgegenüber die Diode (141, 151, 161), dass der Aufladestrom durch die Induktivität (13) als ein Freilaufstrom fließt. Die Steuerungsschaltung (18) stellt jede Einperiode der Schaltvorrichtung (4, 5, 6) auf eine konstante Dauer derart ein, dass, während der Piezostapel (2) elektrisch aufgeladen wird, eine Spannung des Piezostapels (2) ansteigt, wodurch verursacht wird, dass der Aufladestrom sich verringert. Falls die Anstiegsrate der Spannung des Piezostapels (2) durch eine Erhöhung der elektrostatischen Kapazität des Piezostapels oder anderen Gründen verringert wird, erhöht ein resultierender Effekt eine Rate, mit der der Aufladestrom ansteigt. Folglich wird die Anstiegsrate der Spannung des Piezostapels (2) nicht sehr geändert. Zusätzlich ändert sich die Abstiegsrate des Aufladestroms, die während der gesamten Aufladepiode gesehen wird, ebenfalls nicht sehr.

#### Patentansprüche

1. Piezobetätigungs-gliedantriebsschaltung (1) mit: einem ersten Leitungsweg (12a), um einen ersten Aufladestrom aus einer Gleichspannungsversorgung (11) zu einem Piezostapel (2A bis 2D), der an einem Piezobetätigungsglied (4c) vorgesehen ist, über eine Induktivität (13) fließen zu lassen, einem zweiten Leitungsweg (12b) mit der Induktivität (13), dem Piezostapel (2A bis 2D) und einer Diode, die

miteinander in Reihe geschaltet sind, einer Schaltvorrichtung (14, 15, 16), die an einer Stelle auf dem ersten Leitungsweg (12a) vorgesehen ist und wiederholt ein- und ausgeschaltet wird, und einer Steuerungseinrichtung (18) zur Steuerung der Schaltvorrichtung zum Einschalten und Ausschalten, wobei der erste Aufladestrom während einer Einperiode der Schaltvorrichtung (14, 15, 16) fließt und allmählich ansteigt, ein durch den zweiten Leitungsweg (12b) aufgrund eines Freilauffeffekts fließender, zweiter Aufladestrom sich allmählich während einer Ausperiode der Schaltvorrichtung (14, 15, 16) verringert und die Steuerungseinrichtung (18) die Einperiode der Schaltvorrichtung (14, 15, 16) auf eine vorbestimmte Zeitdauer einstellt.

2. Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (1) gemäß Patentanspruch 1, wobei die Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (1) weiterhin eine Stromerfassungseinrichtung zur Überwachung des ersten Aufladestroms und zum Vergleich des ersten Aufladestroms mit einem vorbestimmten Stromwert aufweist, wobei ein Zeitpunkt, zu dem der überwachte, erste Aufladestrom den vorbestimmten Stromwert zum ersten Mal erreicht, als einen ersten Zeitverlauf zum Schalten der Schaltvorrichtung (14, 15, 16) von einem eingeschalteten Zustand zu einem ausgeschalteten Zustand zum ersten Mal verwendet wird, und die Steuerungseinrichtung (18) die Zeitdauer der Einperiode der Schaltvorrichtung (14, 15, 16) auf der Grundlage des ersten Zeitverlaufs bestimmt.

3. Kraftstoffeinspritzgerät mit: einer Düseneinheit zur Ausführung einer Einspritzung von Hochdruckkraftstoff, der von einem Common-Rail (54) zugeführt wird, einem Ventilkörper (423), der das Einspritzen des Hochdruckkraftstoffs in einem Schaltvorgang ein- und ausschaltet, der durch den Druck des Hochdruckkraftstoffs beeinflusst wird, einem Piezobetätigungsglied (4c) zur Erzeugung einer Druckkraft, die den Ventilkörper (423) drückt, um dem Druck des Hochdruckkraftstoffs zu widerstehen, und einer Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (1) gemäß einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (1) zum Antrieb des Piezobetätigungsglieds (4c) verwendet wird.

4. Kraftstoffeinspritzgerät nach Anspruch 3, wobei das Kraftstoffeinspritzgerät weiterhin eine Druckerfassungseinrichtung (57) zur Erfassung eines Kraftstoffdrucks innerhalb des Common-Rail (54) aufweist, wobei die Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (1) zur Variation der Größe einer in den Piezostapel (2A bis 2D) akkumulierten, elektrischen Ladung aufgebaut ist und die Steuerungseinrichtung (18) eine Steuerung derart ausführt, dass, je höher der Wert des erfassten Kraftstoffdrucks innerhalb des Common-Rail (54) ist, der Wert desto größer ist, auf den die Größe einer in dem Piezostapel (2A bis 2D) akkumulierten, elektrischen Ladung eingestellt ist.

5. Kraftstoffeinspritzgerät nach Anspruch 4, wobei eine aus der Gleichspannungsversorgung (11) ausgegebene Spannung variiert werden kann und die Steuerungseinrichtung (18) die Gleichspannungsversorgung (11) derart steuert, dass, je höher der Wert des erfassten Kraftstoffdrucks innerhalb des Common-

Rail (54) ist, desto größer der Wert ist, auf die die aus der Gleichspannungsversorgung (11) ausgegebene Spannung eingestellt ist.

6. Kraftstoffeinspritzgerät nach Anspruch 4, wobei die Steuerungseinrichtung (18) eine Steuerung derart ausführt, dass, je höher der Wert des erfassten Kraftstoffdrucks innerhalb des Common-Rail (54) ist, desto größer der Wert ist, auf die die Ausperiode der Schaltvorrichtung (14, 15, 16) eingestellt wird.

7. Kraftstoffeinspritzgerät nach Anspruch 4, wobei die Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (1) weiterhin eine Stromerfassungseinrichtung zur Überwachung des ersten Ladestroms und zum Vergleich des ersten Ladestroms mit einem Stromvorgabewert aufweist, wobei ein Zeitpunkt, bei dem der überwachte, erste Aufladestrom den Vorgabestromwert erreicht, als einen ersten Zeitpunkt zum Schalten der Schaltvorrichtung (14, 15, 16) von einem eingeschalteten Zustand zu einem ausgeschalteten Zustand zum ersten Mal genommen wird, die Steuerungseinrichtung (18) die Zeitdauer der Einperiode der Schaltvorrichtung (14, 15, 16) auf der Grundlage des ersten Zeitverlaufs bestimmt und die Steuerungseinrichtung (18) eine Steuerung derart ausführt, dass, je höher der Wert des erfassten Kraftstoffdrucks innerhalb des Common-Rail (54) ist, desto größer der vorbestimmte Strom ist.

8. Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (201), bei der ein Mehrfachschalten angewandt wird, mit: einem ersten Leitungsweg (212a), um einen ersten Aufladestrom aus einer Gleichspannungsversorgung (211) zu einem Piezostapel (202), der an einem Piezobetätigungsglied (204c) vorgesehen ist, über eine Induktivität (213) fließen zu lassen, einem zweiten Leitungsweg (212b) mit der Induktivität (213), dem Piezostapel (202) und einer Diode, die miteinander in Reihe geschaltet sind, einer Schaltvorrichtung (214, 215, 216), die an einer Stelle auf dem ersten Leitungsweg (212a) vorgesehen ist und wiederholt ein- und ausgeschaltet wird, und einer Steuerungseinrichtung (218) zur Steuerung der Schaltvorrichtung zum Einschalten und Ausschalten, wobei die Steuerungseinrichtung (218) die Schaltvorrichtung (214, 215, 216) in einen ausgeschalteten Zustand feststellt, wenn die in den Piezostapel (202) akkumulierte, elektrische Ladung einen Sollwert der akkumulierten, elektrischen Ladung erreicht, der Aufladestrom durch den ersten Leitungsweg (212a) fließt und allmählich während einer Einperiode der Schaltvorrichtung (214, 215, 216) ansteigt, der Aufladestrom durch den zweiten Leitungsweg (212b) aufgrund eines Freilauffeffekts fließt und allmählich während einer Ausperiode der Schaltvorrichtung (214, 215, 216) sich verringert und die Steuerungseinrichtung (218) aufweist: eine Einrichtung (381) zur Erfassung eines Fortschrittszustands der elektrischen Aufladung, der ein Verhältnis von gegenwärtig in dem Piezostapel (202) akkumulierten, elektrischen Ladung zu dem Sollwert der akkumulierten, elektrischen Ladung wiedergibt, und eine Stromverringerungseinrichtung (382) zur Verringerung des Spitzenwerts des in einer Ein-Aus-Periode der Schaltvorrichtung (214, 215, 216) beobachteten Aufladestroms entsprechend einem Anstieg in dem erfassten Fortschrittszustand der elektrischen Aufladung.

9. Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (201) nach



Anspruch 8, wobei die Stromverringereinrichtung (382) den Spitzenwert auf einen Konstantwert einstellt, bis der Fortschrittzustand der elektrischen Aufladung einen vorab eingestellten Schwellwert erreicht.

10. Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (201) 5  
nach Anspruch 8 oder 9, wobei  
die Stromverringereinrichtung (382) die Schaltvorrichtung (214, 215, 216) jedes Mal ausschaltet, wenn der Aufladestrom einen vorbestimmten Strombegrenzungswert erreicht, und 10  
die Stromverringereinrichtung (382) den Strombegrenzungswert um eine derartige Größe verringert, dass, je höher der Fortschrittzustand der elektrischen Aufladung ansteigt, desto größer die Größe wird.

11. Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (201) 15  
nach Anspruch 8 oder 9, wobei  
die Stromverringereinrichtung (382) die Schaltvorrichtung (214, 215, 216) ausschaltet, wenn die Dauer der Ausperiode der Schaltvorrichtung (214, 215, 216) eine vorbestimmte Strombegrenzungszeit erreicht, und 20  
die Stromverringereinrichtung (382) die Strombegrenzungszeit um eine derartige Größe verringert, dass, je höher der Fortschrittzustand der elektrischen Aufladung ansteigt, desto größer die Größe wird. 25

12. Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (201)  
nach einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei die Einrichtung zur Erfassung des Fortschrittzustands der elektrischen Aufladung (381) den Fortschrittzustand der elektrischen Ladung auf der Grundlage einer Differenz 30  
zwischen einer zwischen zwei Anschlüssen des Piezostapels (202) auftretenden Spannung und einer Sollspannung erfasst.

13. Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (501) mit:  
einem Kondensator (713) zur Akkumulierung elektrischer Ladung, die einem an einem Piezobetätigungsglied vorgesehenen Piezostapel (502) zuzuführen ist, einem ersten Leitungsweg (512a), um einen ersten Aufladestrom aus dem Kondensator (713) zu dem Piezostapel über eine Induktivität (513) fließen zu lassen, 40  
einer Piezostapelaufadeschaltvorrichtung, die an einer Stelle zwischen dem Kondensator (713) und der Induktivität (513) auf dem ersten Leitungsweg (512a) vorgesehen ist,  
einem zweiten Leitungsweg (512b), der einen geschlossenen Stromkreis einschließlich der Induktivität (513) und dem Piezostapel (502) bildet, jedoch nicht den Kondensator (713) und die Piezostapelaufadeschaltvorrichtung aufweist, 45  
einer Piezostapeltrennschaltvorrichtung, die in dem zweiten Leitungsweg (512b) vorgesehen ist,  
einem dritten Leitungsweg (512c), der einen Verbindungspunkt zwischen der Induktivität (513) und dem Piezostapel (502) mit dem Kondensator (713) verbindet, und 50  
einer Steuerungseinrichtung (518) zur Steuerung der Piezostapelaufadeschaltvorrichtung und der Piezostapeltrennschaltvorrichtung zum Einschalten und Ausschalten, wobei  
der erste Aufladestrom während einer Einperiode der Piezostapelaufadeschaltvorrichtung fließt, 60  
ein zweiter Aufladestrom durch den zweiten Leitungsweg (512b) aufgrund eines Freilauffeffekts während einer Ausperiode der Piezostapelaufadeschaltvorrichtung fließt, 65  
die Steuerungseinrichtung (518) die Piezostapelaufadeschaltvorrichtung in einen ausgeschalteten Zustand festhält, wenn die Größe der in dem Piezostapel (502)

akkumulierten, elektrischen Ladung einen Sollwert erreicht,  
die Steuerungseinrichtung (518) die Piezostapeltrennschaltvorrichtung ausschaltet, um den Piezostapel (502) von dem zweiten Leitungsweg (512) mit demselben Zeitverlauf wie zum Festhalten der Piezostapelaufadeschaltvorrichtung in einen ausgeschalteten Zustand zu trennen, und  
der dritte Leitungsweg (512c) im wesentlichen die Induktivität (513) mit dem Kondensator (713) verbindet, um zu ermöglichen, dass ein Kreisstrom aus der Induktivität (513) zu dem Kondensator (713) aufgrund eines Freilauffeffekts fließt, wenn die Piezostapeltrennschaltvorrichtung ausgeschaltet ist.

14. Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung (501)  
nach Anspruch 13, wobei der dritte Verbindungsweg (512c), der den Verbindungspunkt zwischen der Induktivität (513) und dem Piezostapel (502) mit dem Kondensator (713) verbindet, eine Diode aufweist, die in eine Rückwärtsrichtung durch eine Spannung vorgespannt wird, die zwischen zwei Anschlüssen des Kondensators (713) auftritt.

15. Piezobetätigungsgliedantriebsschaltung nach Anspruch 13 oder 14, wobei  
ein Ausgangsende der Induktivität (513) mit einer Vielzahl von Reihenschaltungen verbunden ist, die jeweils den Piezostapel (502) und eine dritte Schaltvorrichtung (516) zur Auswahl des Piezostapels (502) aufweisen, und  
die Steuerungseinrichtung (518) die dritten Schaltvorrichtungen (516) mit demselben Zeitverlauf ausschaltet, zu dem die Piezostapelaufadeschaltvorrichtung in einem ausgeschalteten Zustand festgehalten wird, so dass die dritten Schaltvorrichtungen (516) ebenfalls als Piezostapeltrennschaltvorrichtung dienen.

---

Hierzu 26 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



FIG. 1

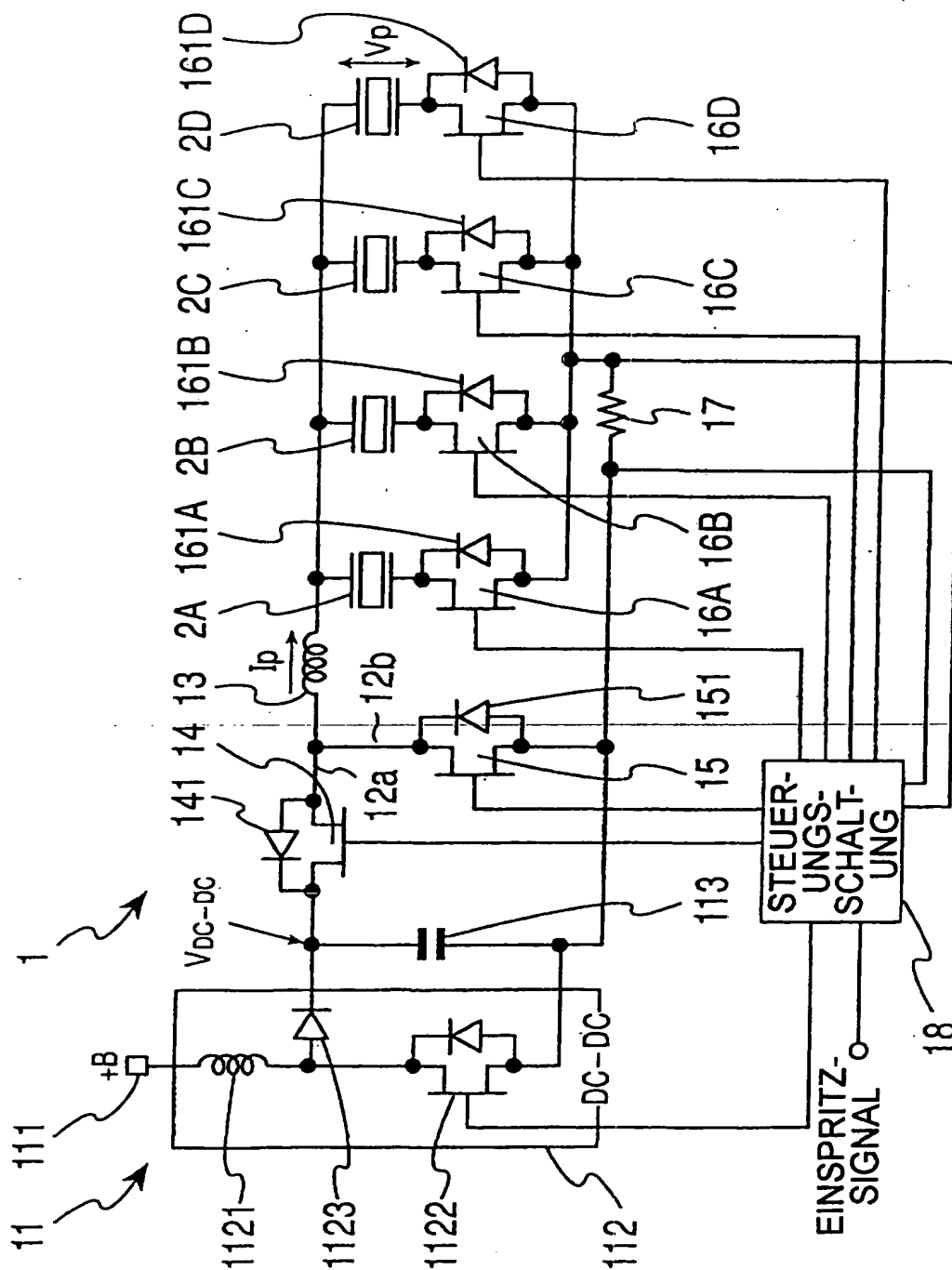


FIG. 2

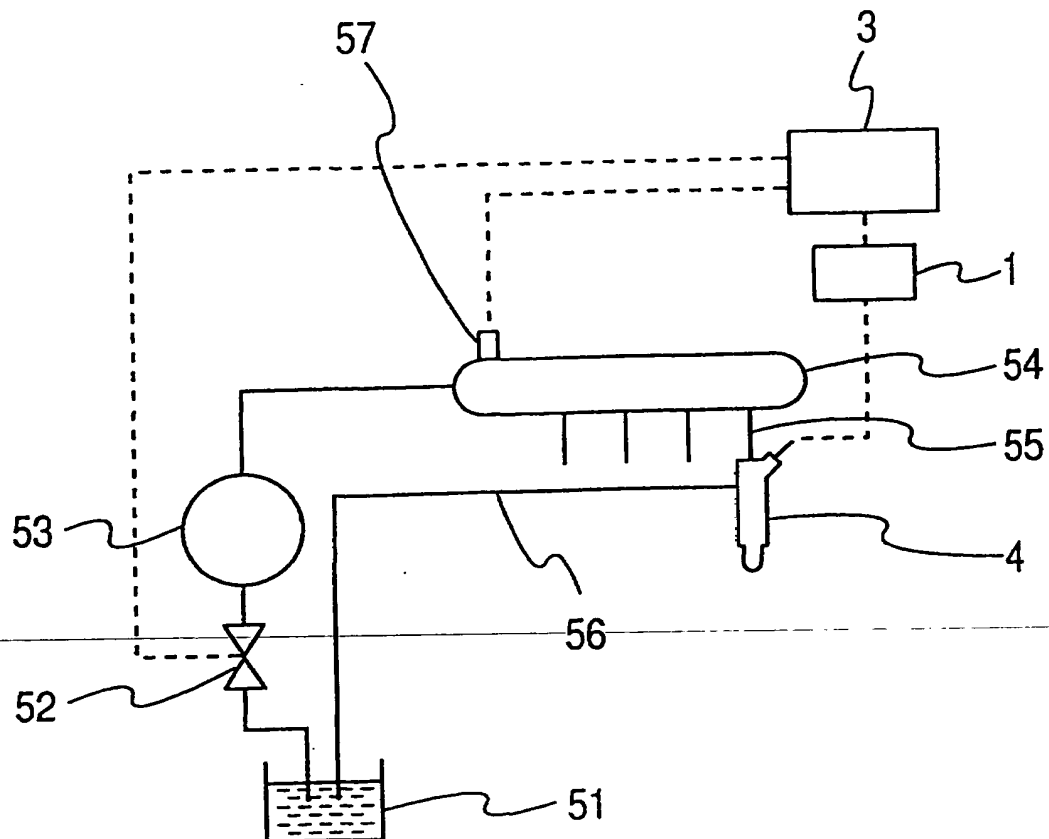


FIG. 3

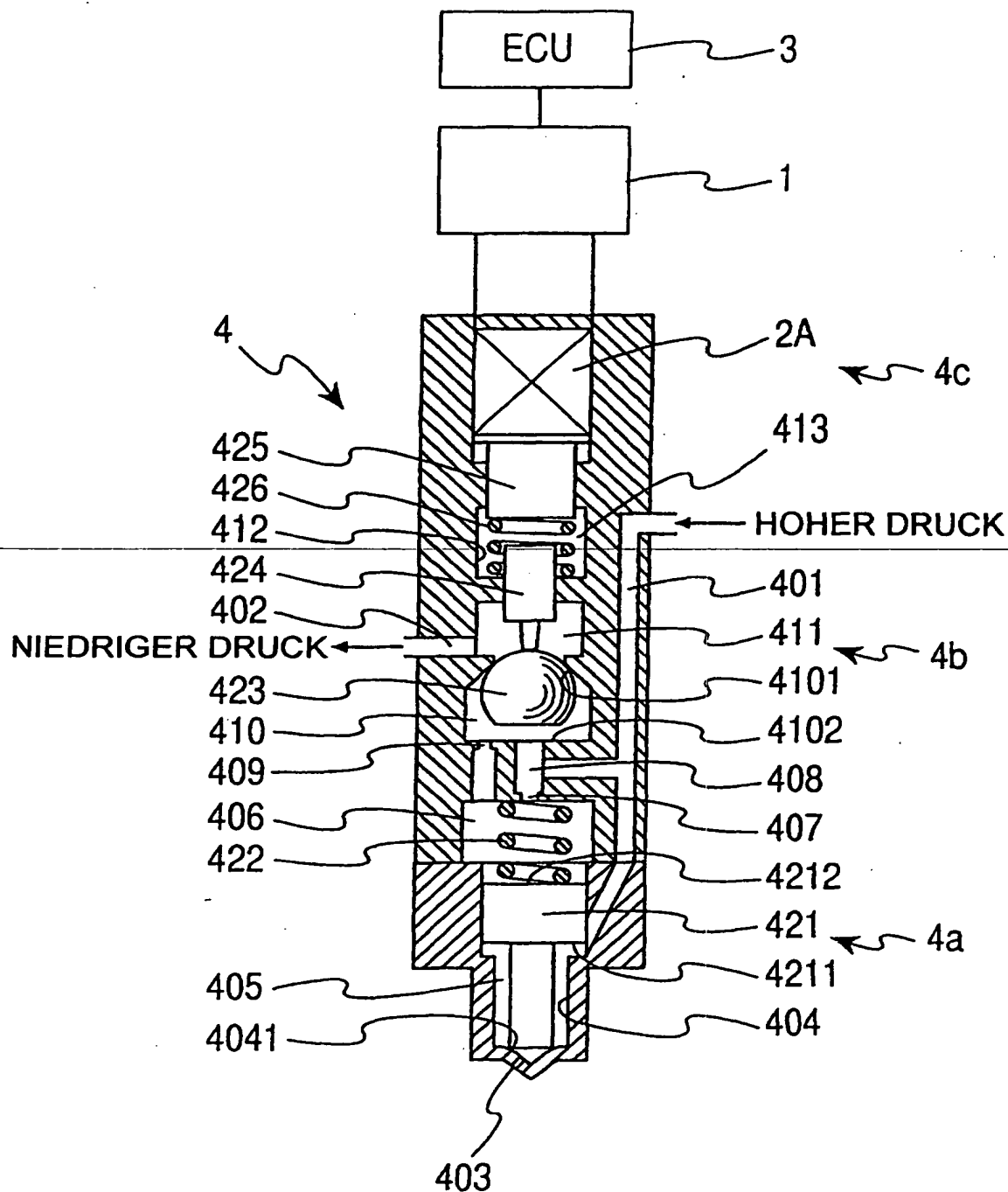


FIG. 4

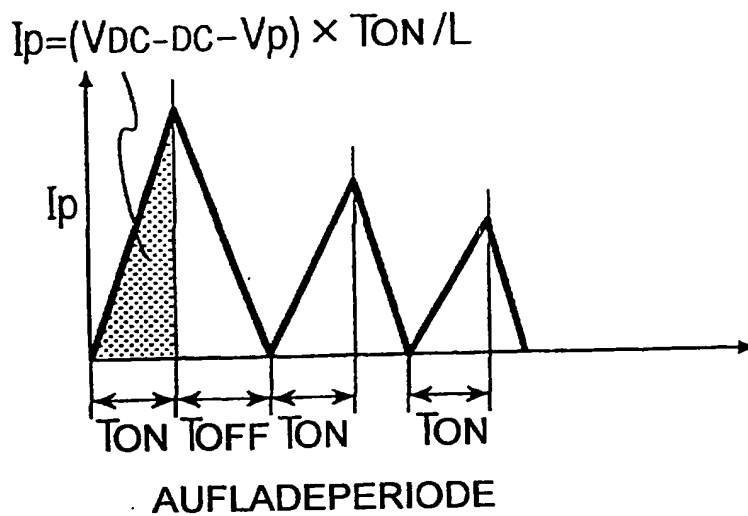


FIG. 5

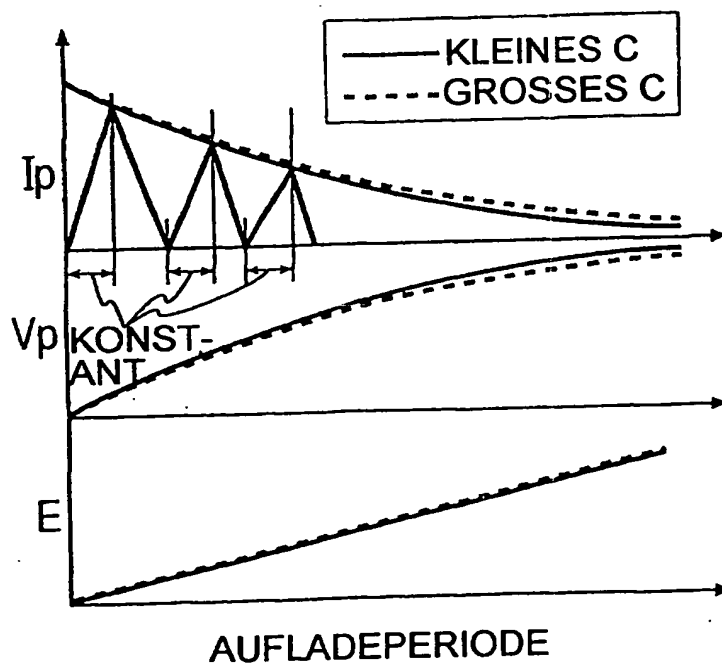


FIG. 6A

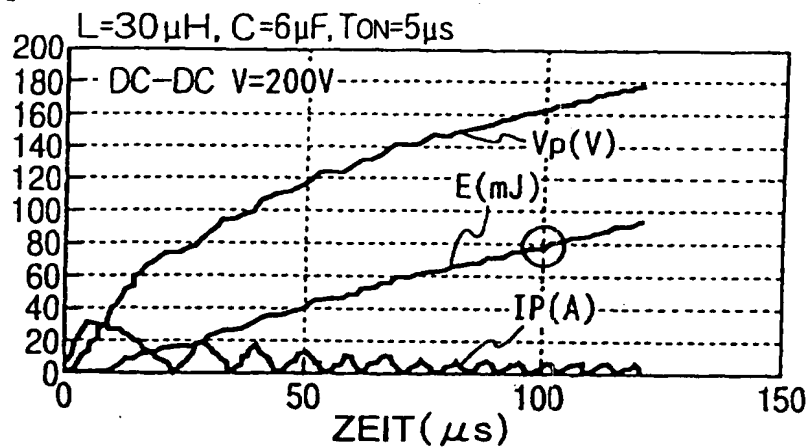


FIG. 6B

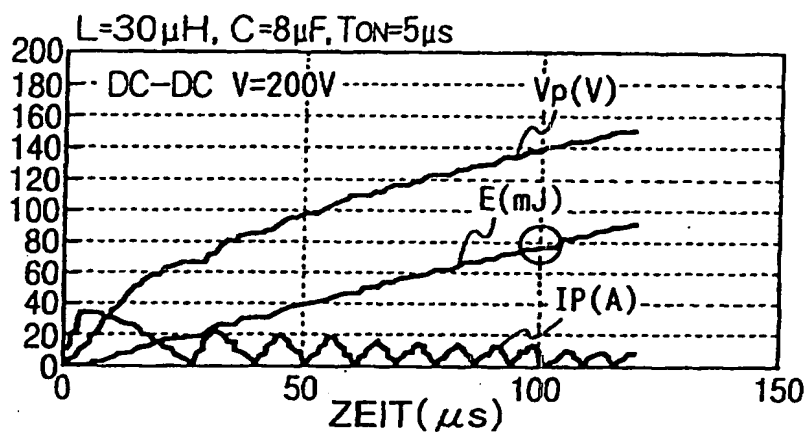


FIG. 6C

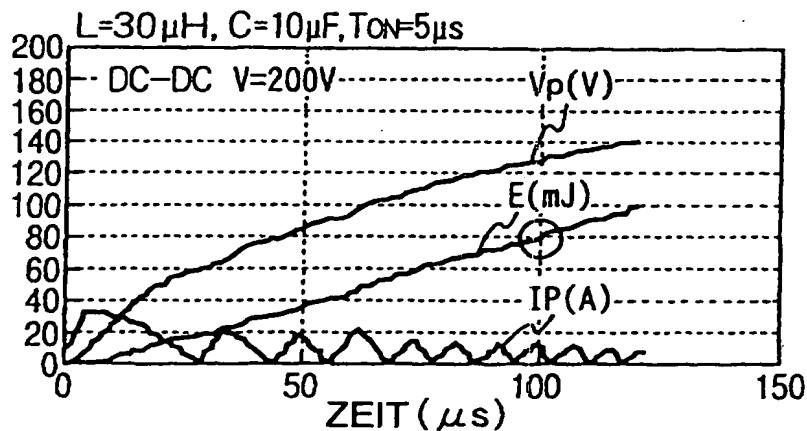


FIG. 7

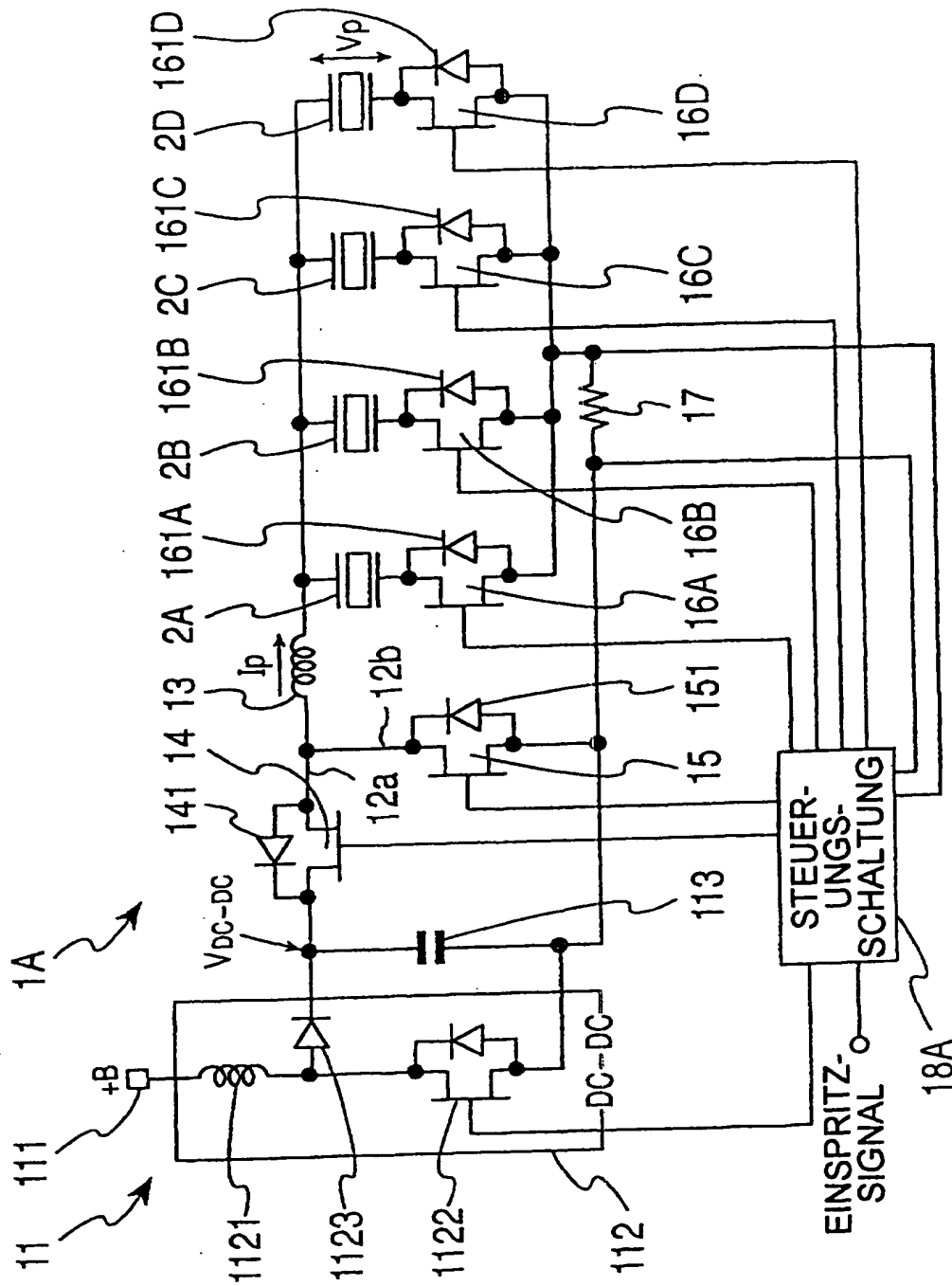


FIG. 8A

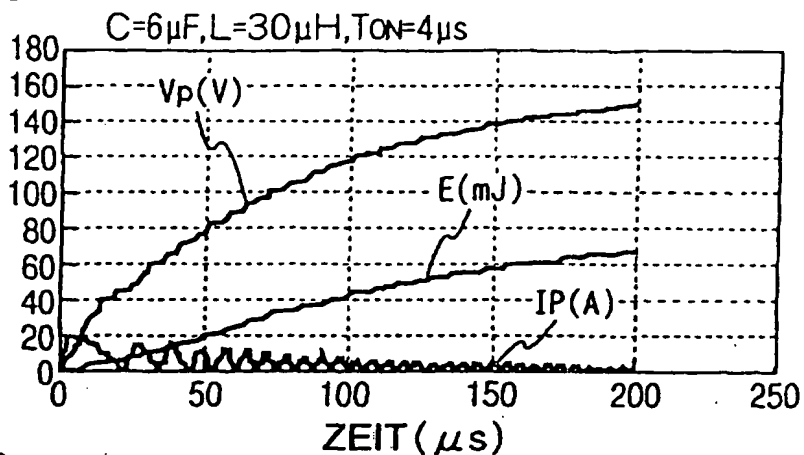


FIG. 8B

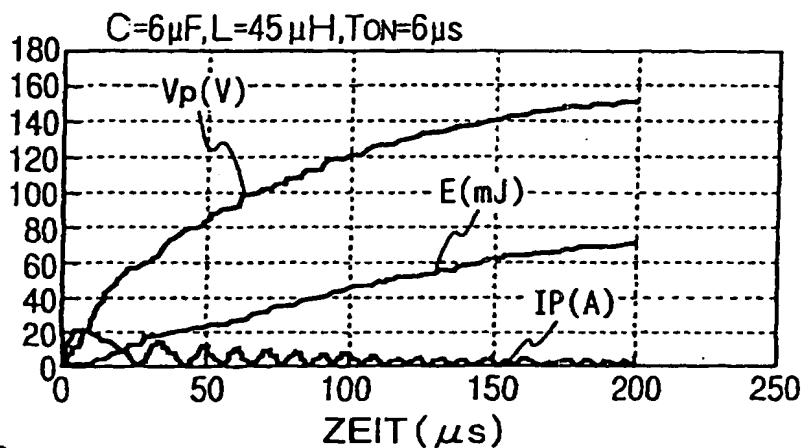


FIG. 8C

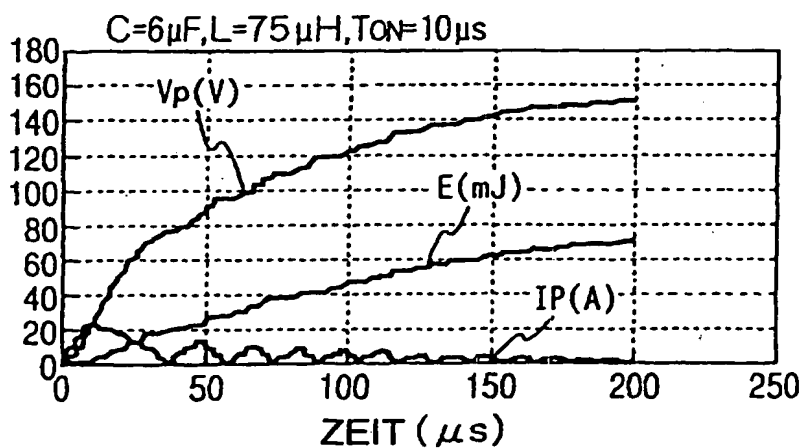






FIG. 10

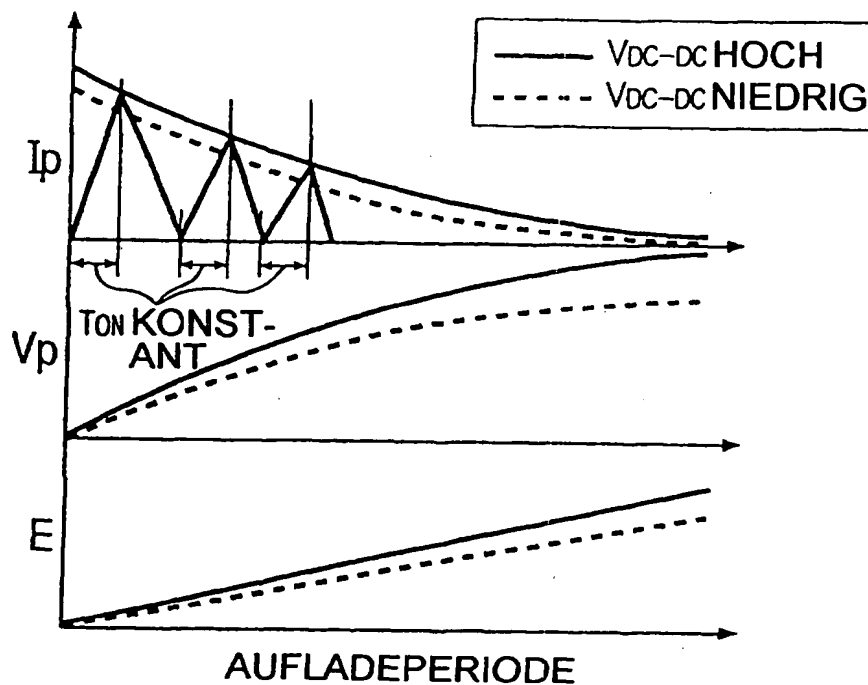


FIG. 12

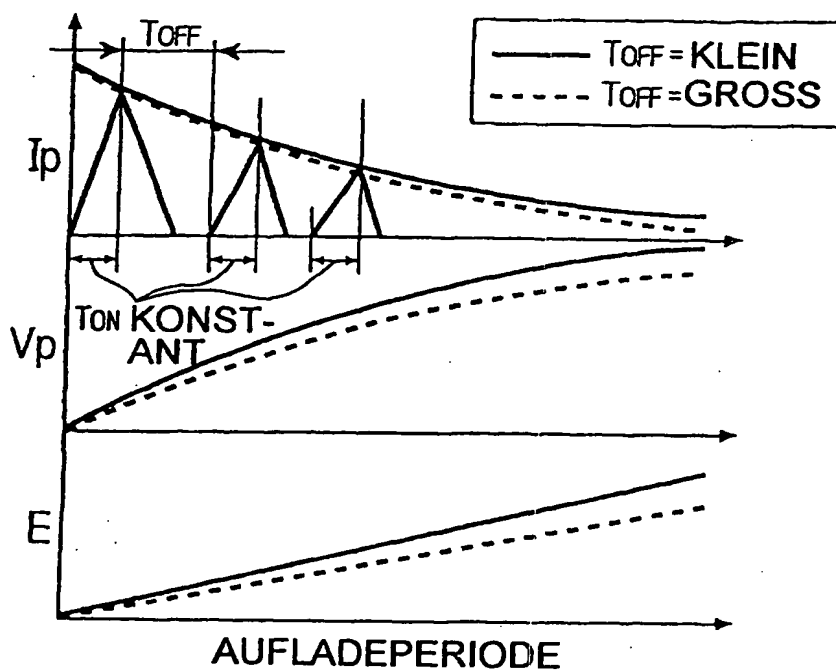






FIG. 14

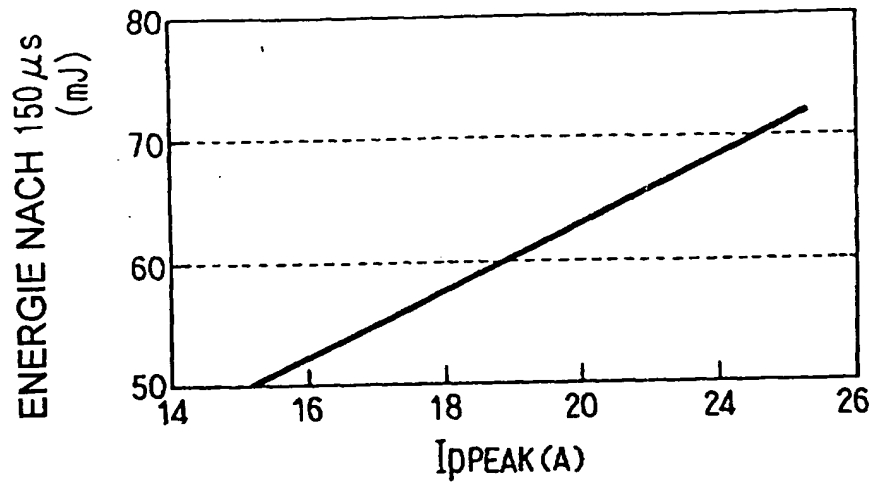


FIG. 15

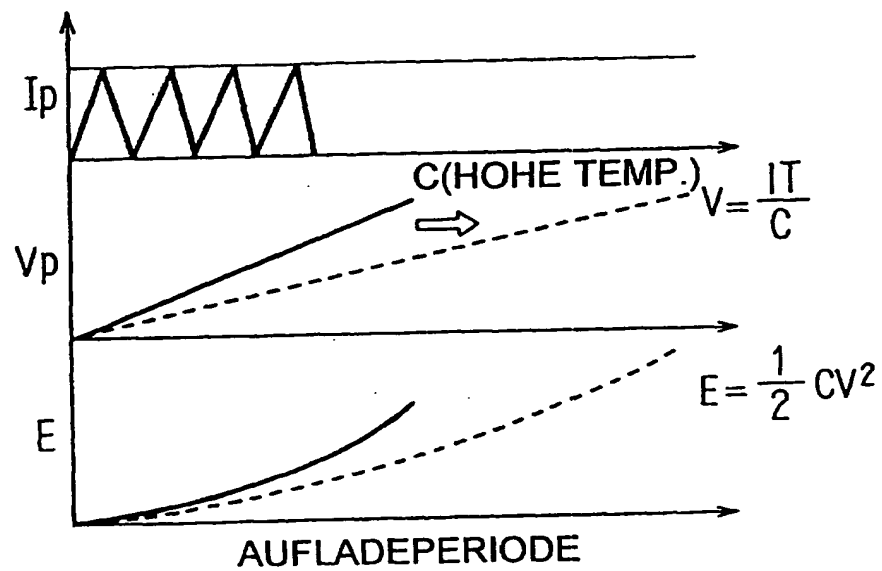


FIG. 16

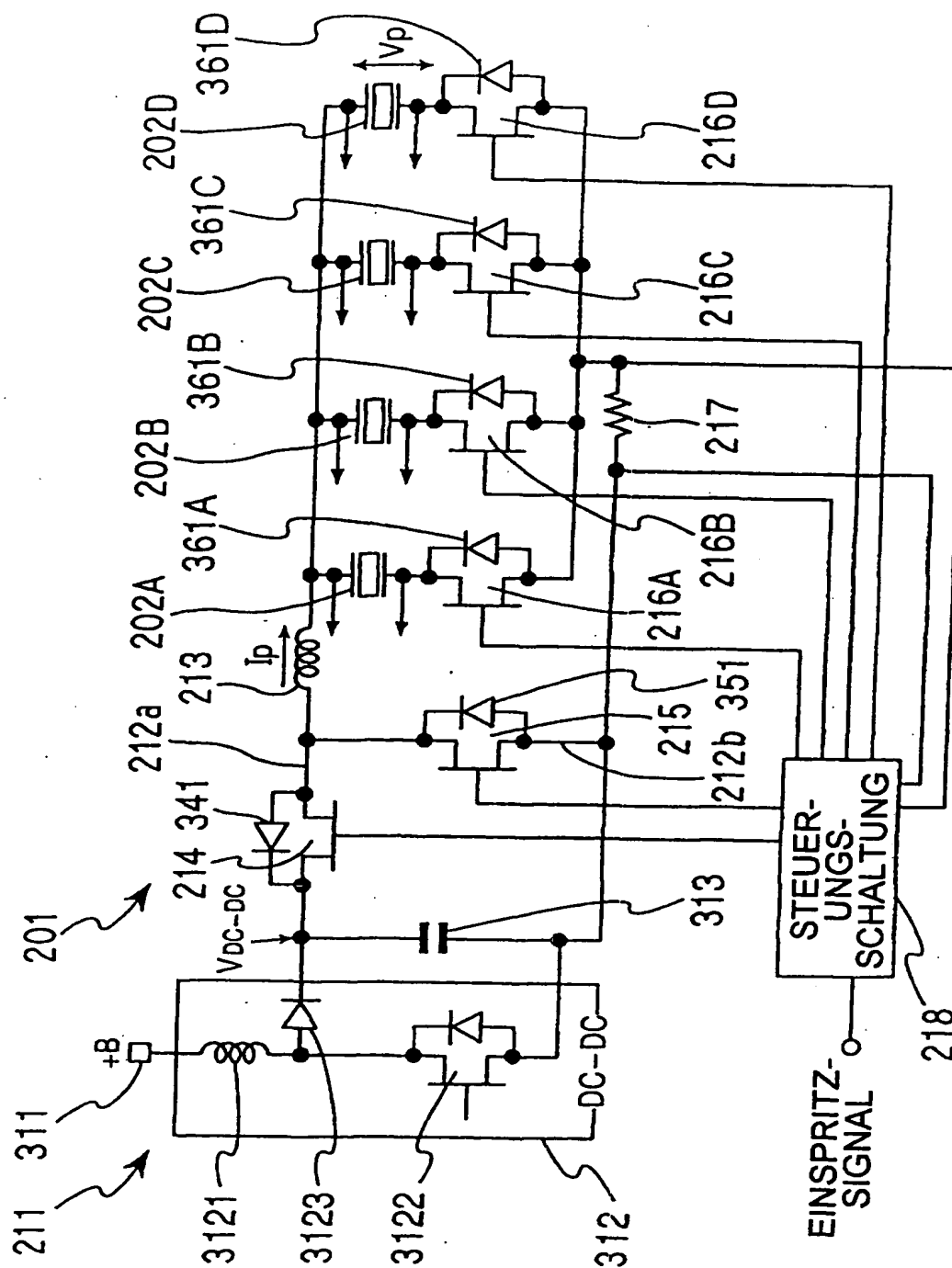


FIG. 17

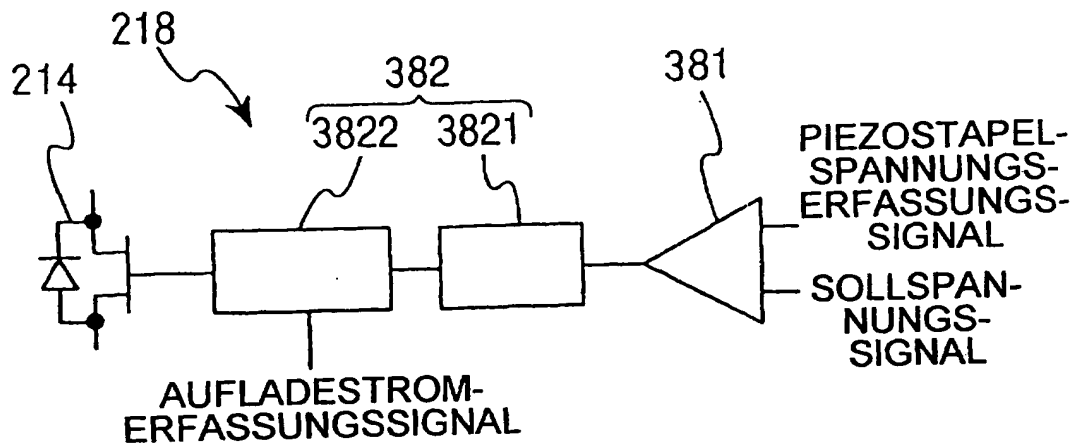


FIG. 18

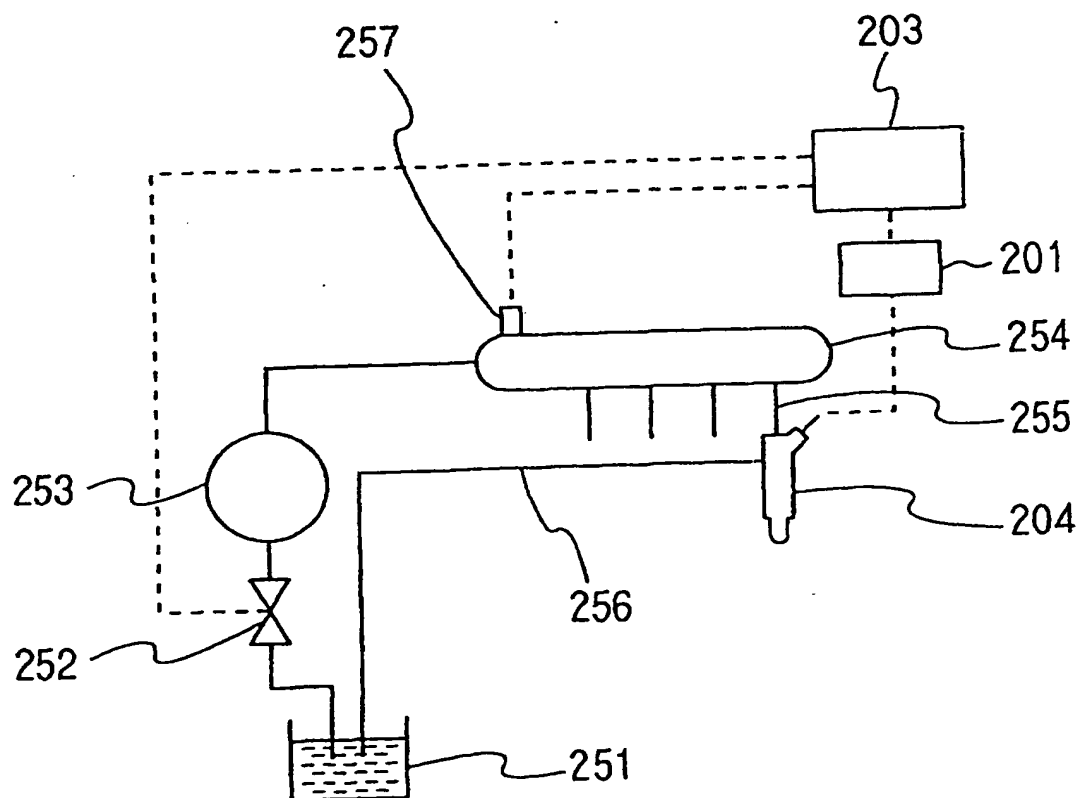


FIG. 19

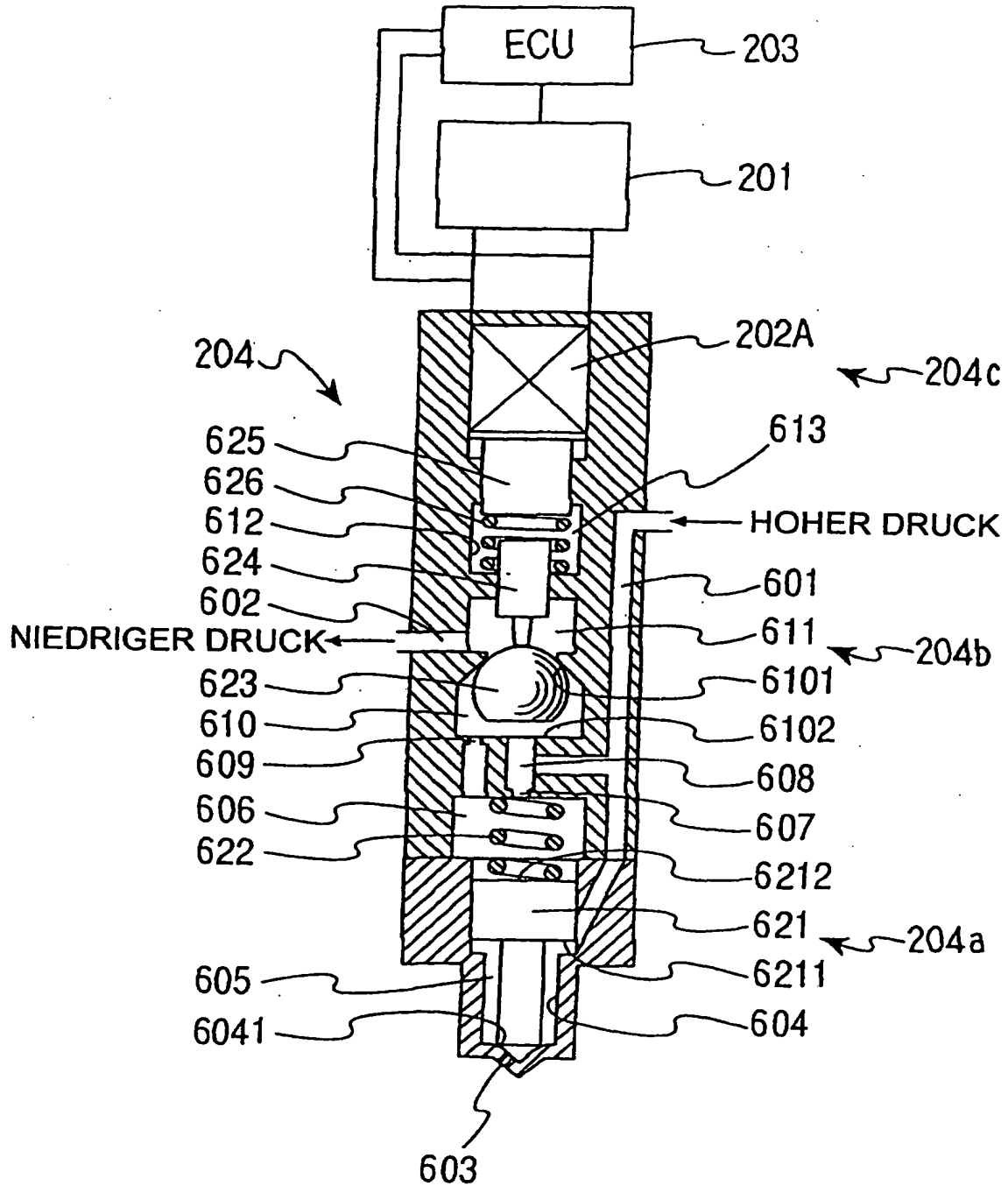


FIG. 20

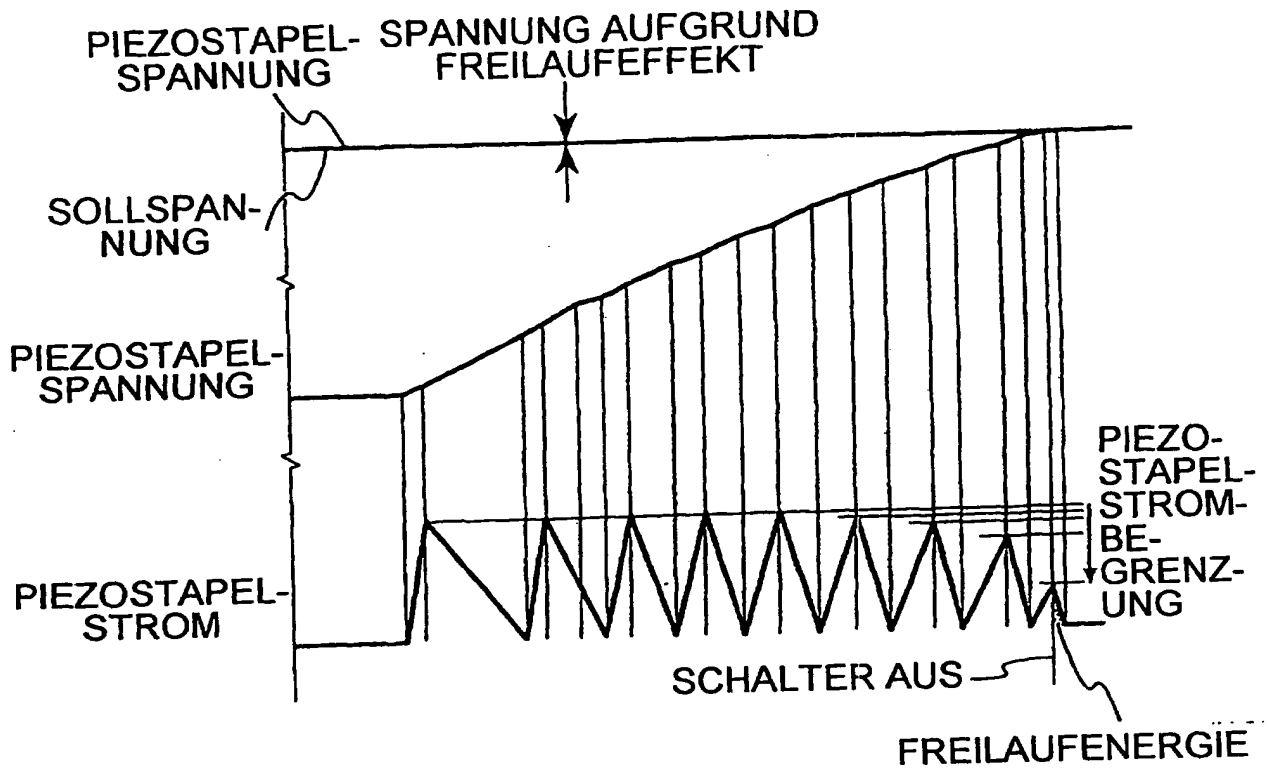






FIG. 22

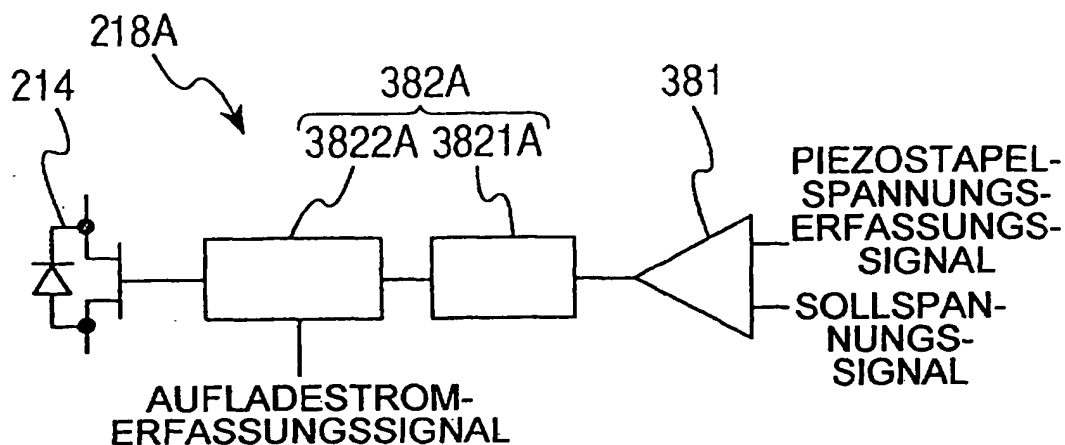


FIG. 23

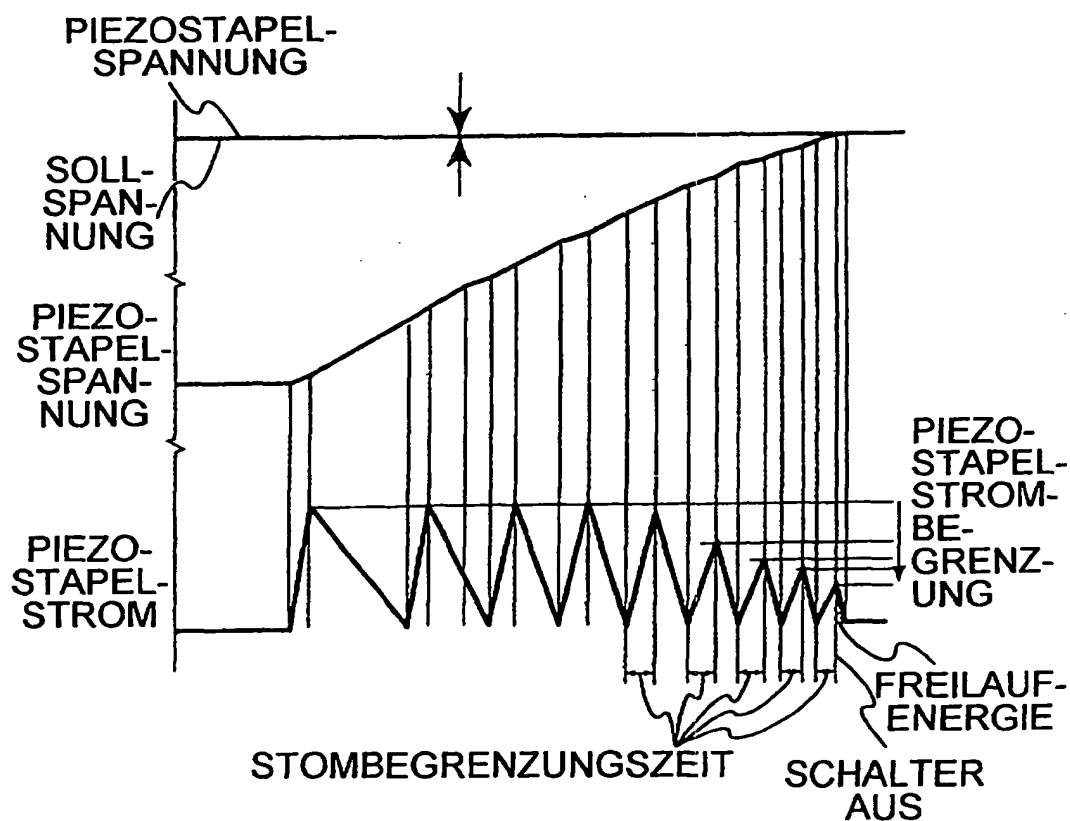


FIG. 24

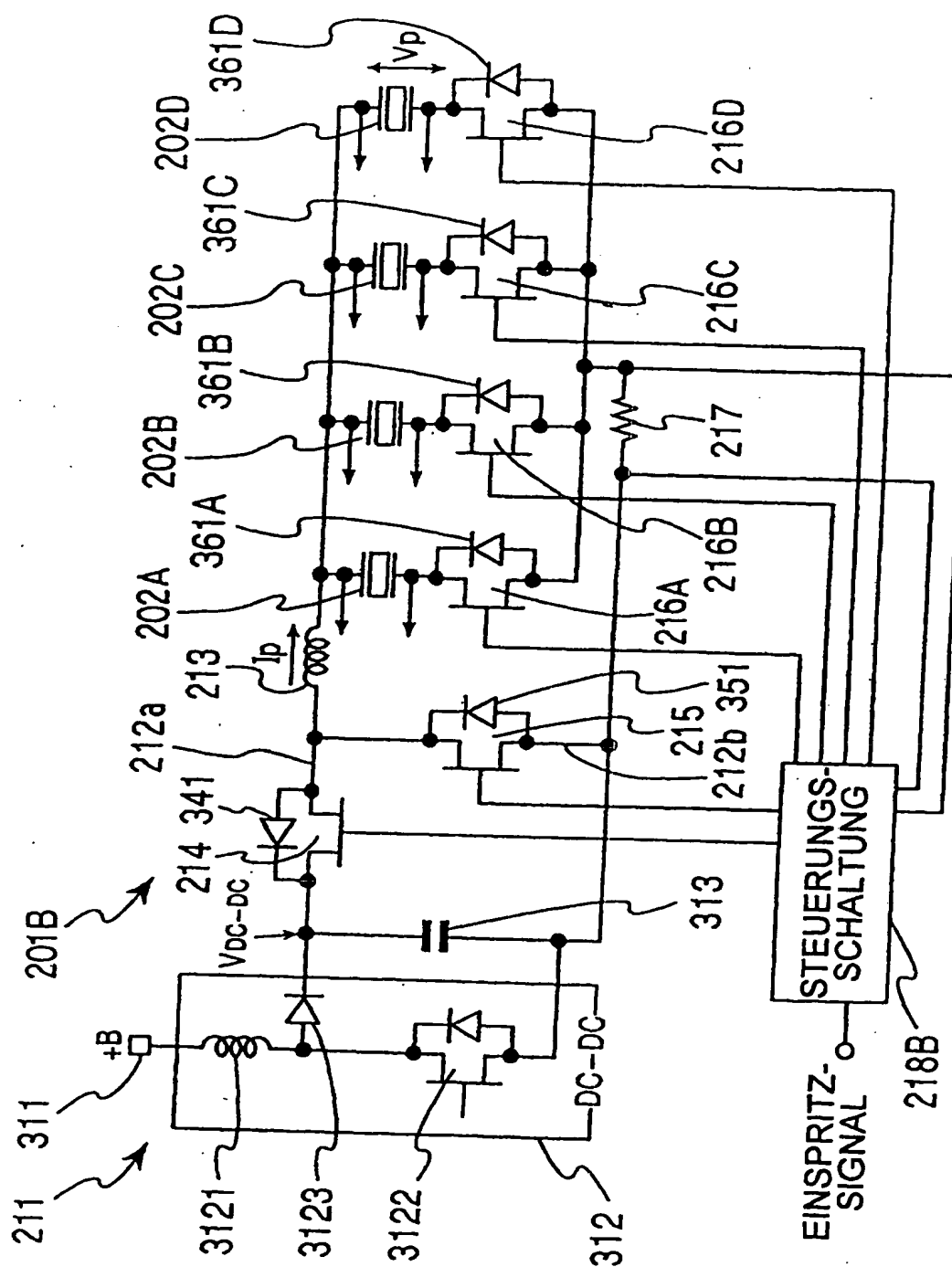


FIG. 25

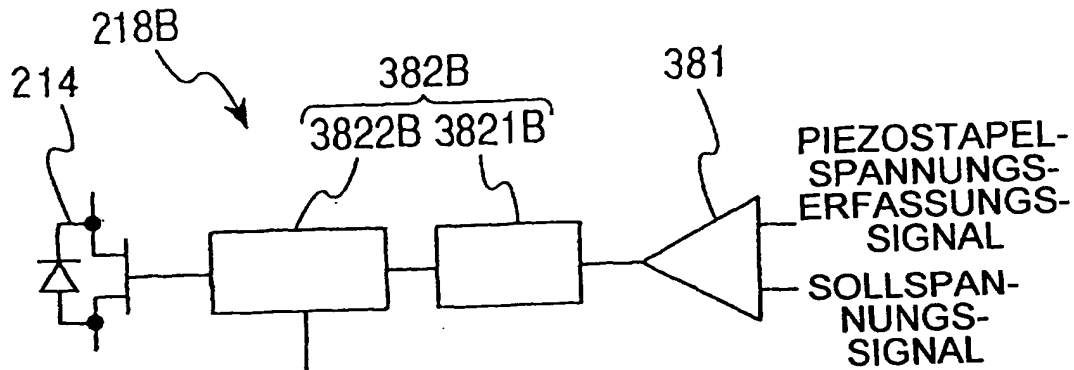


FIG. 26

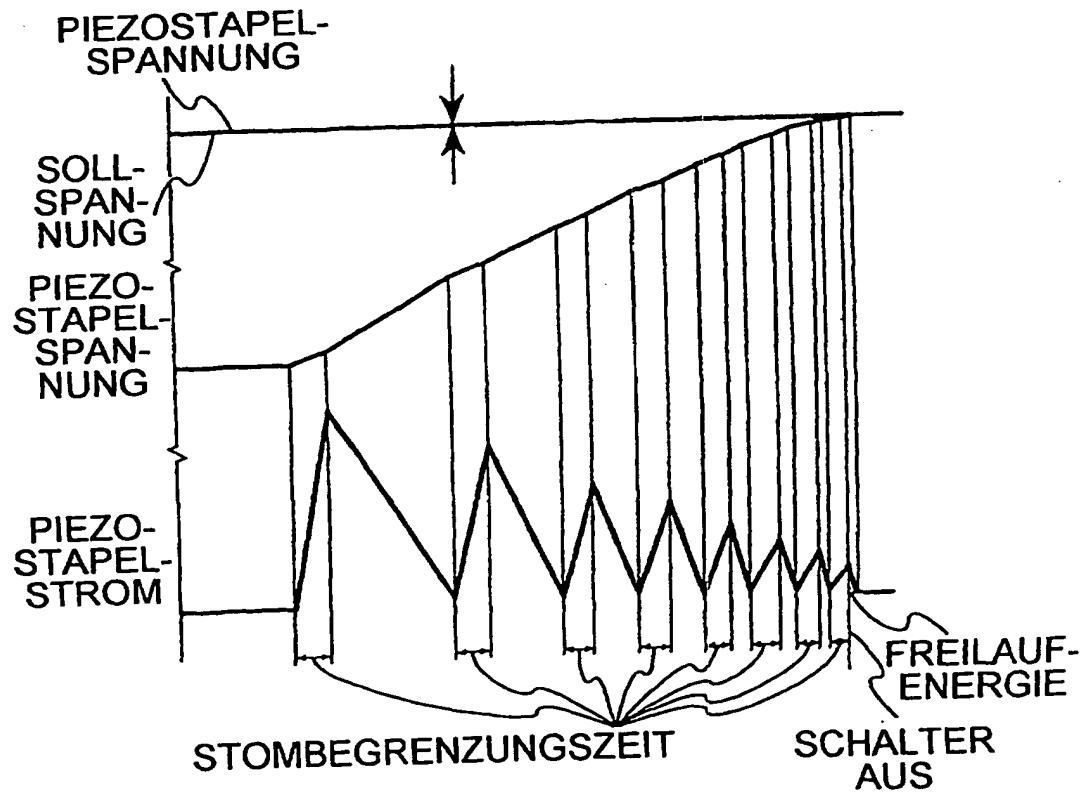


FIG. 27

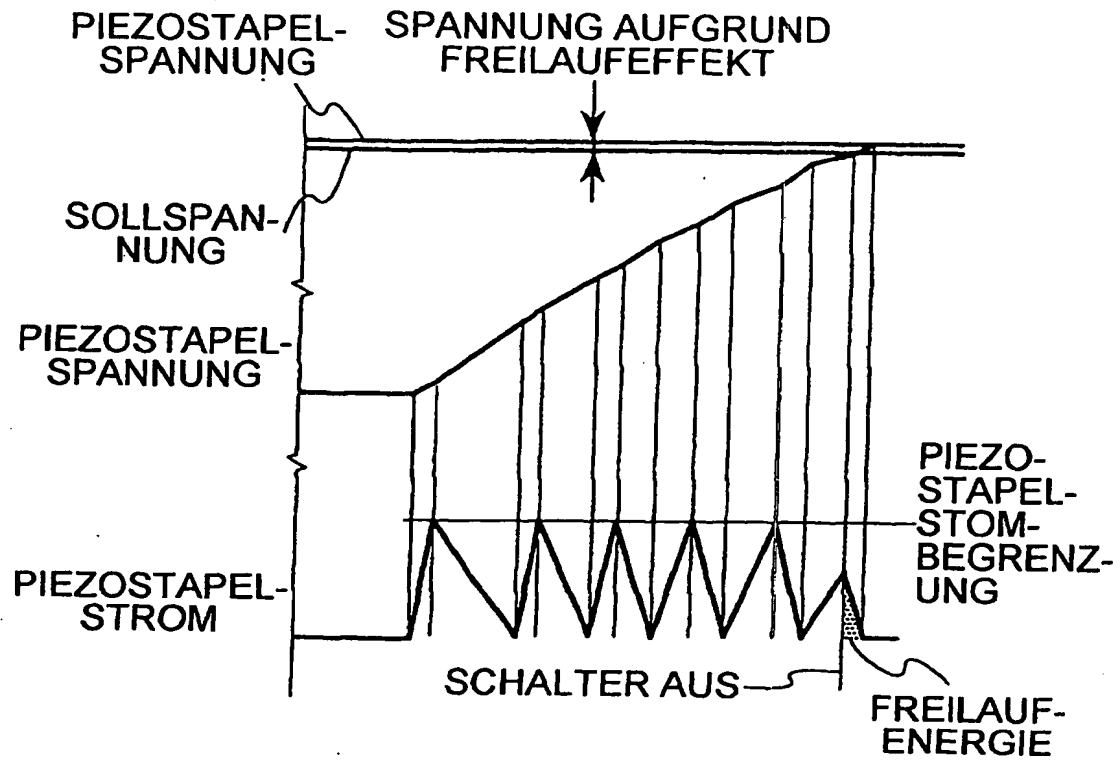


FIG. 28

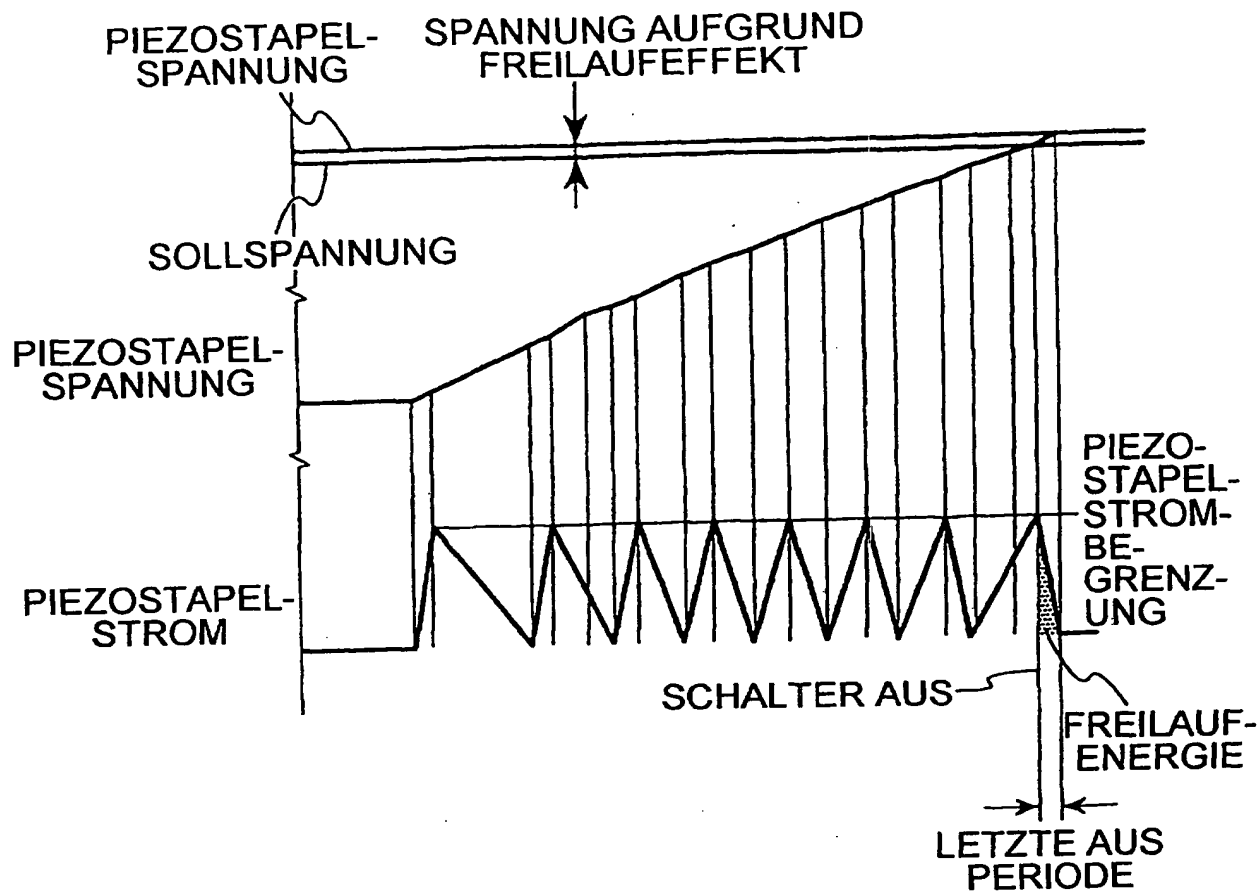




FIG. 30

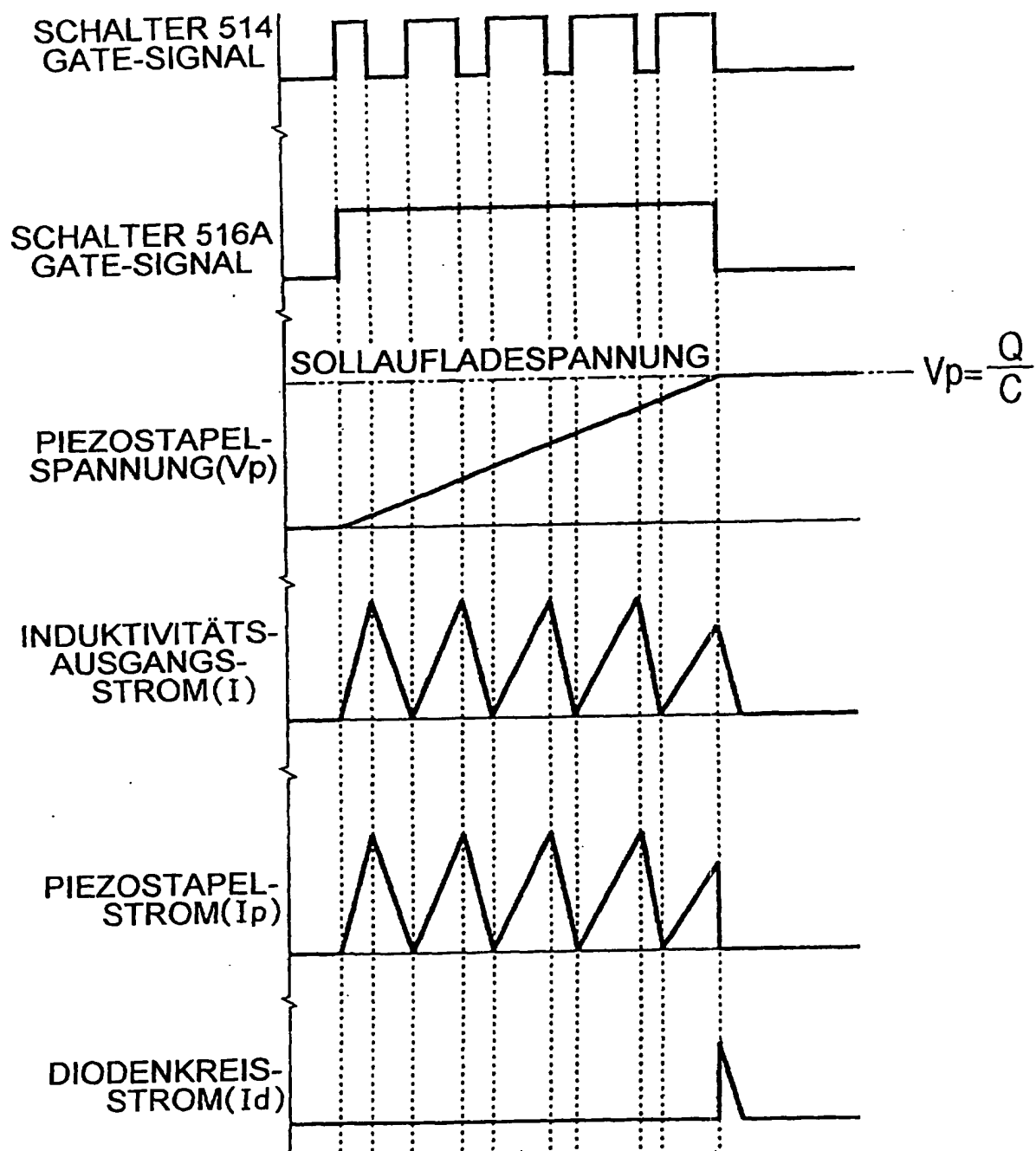




FIG. 31

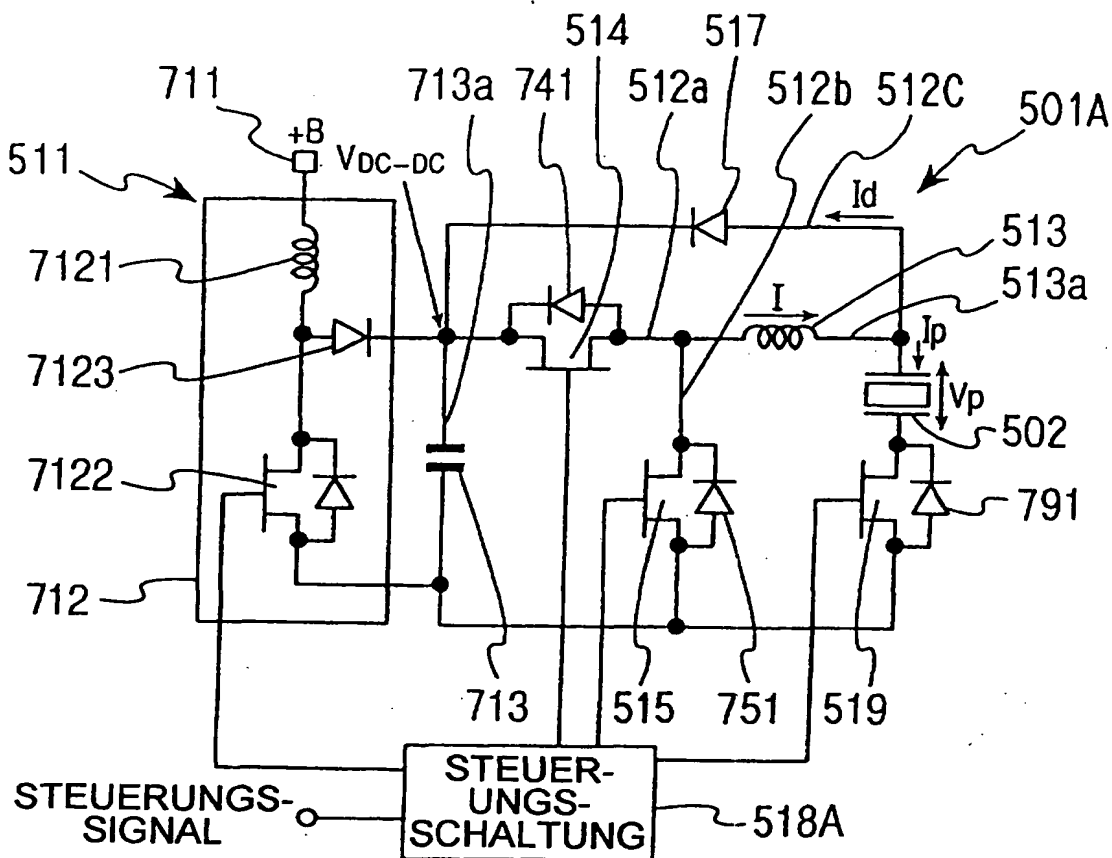
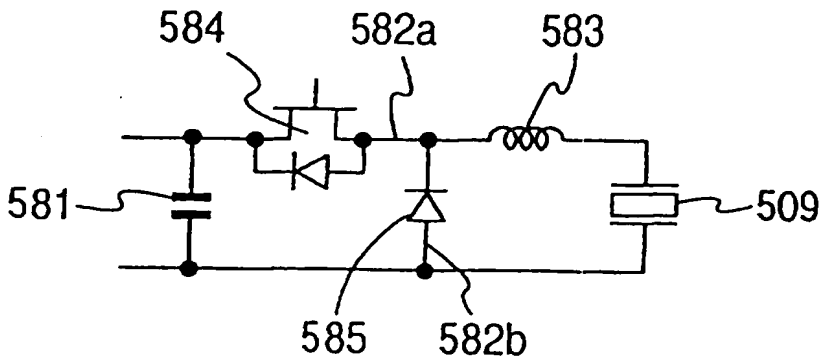
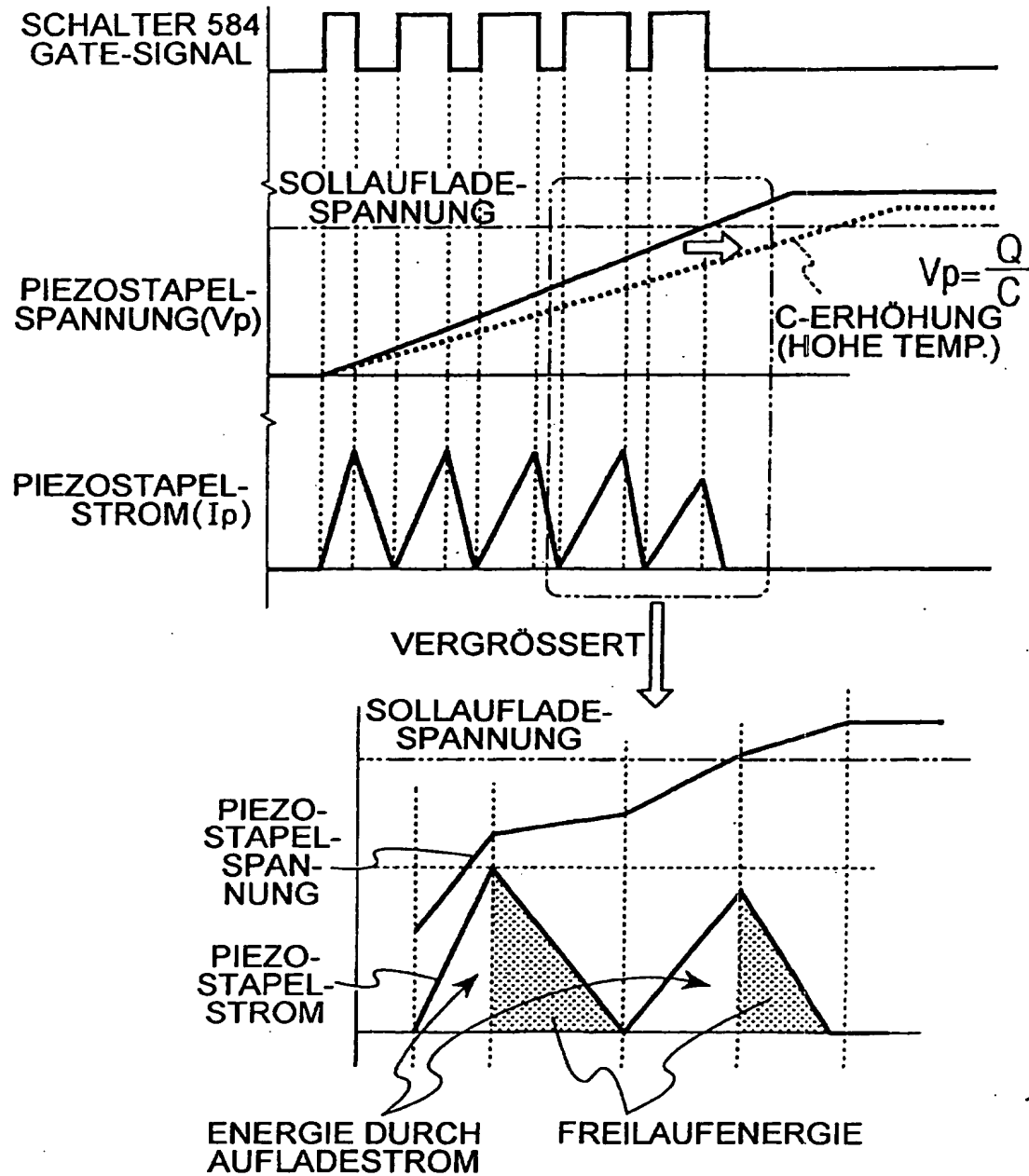


FIG. 32



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

FIG. 33



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**